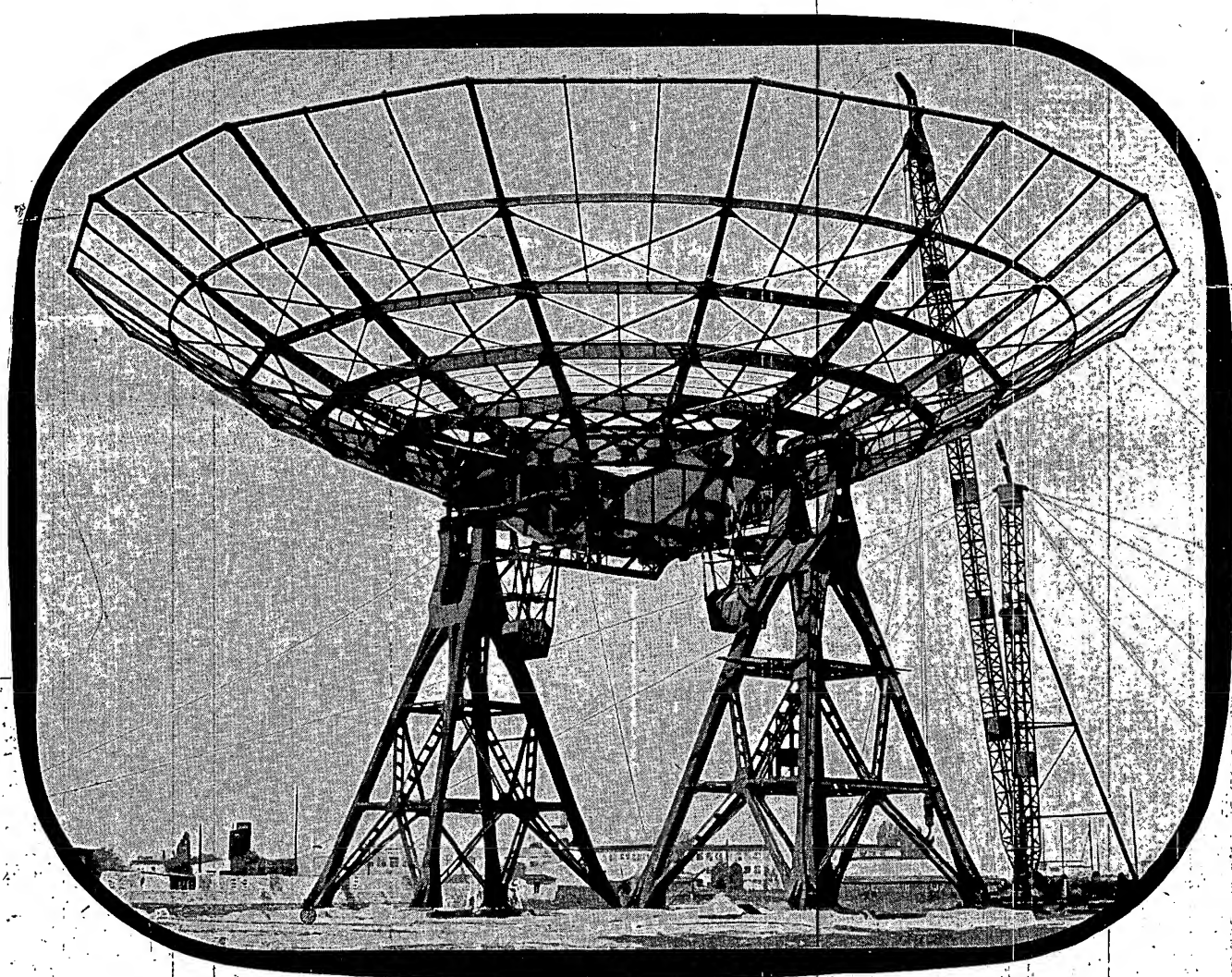


# RADIO UND FERNSEHEN

ZEITSCHRIFT FÜR RADIO, FERNSEHEN, ELEKTROAKUSTIK UND ELEKTRONIK



6. JAHRG. 12 JUNI 1957



VERLAG DIE WIRTSCHAFT BERLIN NO 18

## AUS DEM INHALT

<b>Zum Internationalen Geophysikalischen Jahr 1957/58</b>	<b>361</b>
Diedrich Wattenberg	
<b>Aufgaben des Internationalen Geophysikalischen Jahres 1957/58</b>	<b>362</b>
Fritz Fürstenberg	
<b>Die Radiostrahlung der Sonne</b>	<b>364</b>
H. Prinzler und F. Fürstenberg	
<b>Empfänger und Antennen der Radioastronomie</b>	<b>368</b>
Helmut Prinzler	
<b>Eigenschaften einiger Rauschquellen</b>	<b>375</b>
Jens Taubenheim	
<b>Die Ionosphäre</b>	<b>380</b>
Hans Volland	
<b>Das Magnetfeld der Erde</b>	<b>383</b>
Helmut Stadlmann	
<b>Aufbau und Wirkungsweise eines Durchsenders</b>	<b>388</b>
Udo Köhler	
<b>Atmosphärische und kosmische Einwirkungen auf den Menschen</b>	<b>391</b>

## Titelbild:

Unser Bild zeigt den seiner Vollendung entgegengehenden 36-m.-Parabolspiegel des Heinrich-Hertz-Institutes, der hauptsächlich zur Durchmusterung des Himmels benutzt werden soll. Der Spiegel ist in der Ost-West-Achse drehbar auf zwei Türmen gelagert.

Aufnahme: Blunck

## Verlag DIE WIRTSCHAFT

Berlin NO 18, Am Friedrichshain 22  
Telefon 53 08 71, Fernschreiber 1448  
Verlagsdirektor: Walter Franze  
Radio und Fernsehen

Chefredakteur: Peter Schäffer  
Verantw. Fachredakteur: Ing. Giselher Kuckelt  
Lizenznummer: 41 02

**Anzeigenannahme:** Verlag DIE WIRTSCHAFT und alle Filialen der DEWAG, z. Z. gültige Preisliste Nr. 1

**Druck:** Tribune Druckerei III, Leipzig III/18/36  
Nachdruck und Auszüge nur mit Genehmigung des Verlages. Alle weiteren Rechte vorbehalten.  
Erscheint zweimal im Monat, Einzelheft 2,- DM

## Unsere Leser schreiben

Am 18. und 19. Mai 1957 wurden im Gebiet der DDR vielfach Fälle von Fernseh- und UKW-Überreichweiten festgestellt. Die zahlreichen Briefe unserer Leser, denen zum Teil gute Schirmbildfotos beiliegen, können wir leider nicht im einzelnen wiedergeben. So berichtet G. Lindner aus Radebeul über den Empfang von 12 bis 15 italienischen UKW-Sendern, andere Leser stellten Fernsehempfang italienischer, sowjetischer und englischer Sender fest (siehe Bilder). Wir baten Herrn Dr. Kühn vom Betriebslabor für Rundfunk und Fernsehen, eine kurze Erklärung dieser Erscheinungen zu geben.

## Fernausbreitung von Meterwellen über die Ionosphäre

Die normale Reichweite eines UKW-Senders wird 100 km kaum überschreiten. Dieser Wert ist jedoch von der Sendeleistung, der Höhe der Sende- bzw. Empfangsantenne und der Empfindlichkeit der Empfangsanlage abhängig. Neben diesen dauernd gewährleisteten Empfangsmöglichkeiten treten unter günstigen atmosphärischen Bedingungen Überreichweiten auf, die mitunter gestatten, UKW-Sender auch bis zu Entfernungen von 400 bis 500 km zu empfangen. Weiterhin ist bekannt, daß außer diesen nur zeitweise auftretenden Überreichweiten durch troposphärische Streuung (tropospheric scatter) unter Verwendung von Antennen mit hohem Gewinn und starker Bündelung Übertragungsstrecken arbeiten, die einen dauernden Betrieb über derartige Entfernungen gestatten.

Außer diesen in der Troposphäre auftretenden Ausbreitungsmechanismen ist eine UKW-Ausbreitung über die Ionosphäre bekannt, wobei Ionisationswolken eine Vorwärtsstreuung der Feldstärken hervorbringen (ionospheric scatter) und damit eine zu einem relativ hohen Prozentsatz der Zeit vorhandene Übertragungsmöglichkeit schaffen. Kleinere übertragbare Bandbreite und geringere Betriebssicherheit als bei den troposphärischen Streustrecken sind für diese Ausbreitungsart charakteristisch. Allen Ausbreitungen über die Ionosphäre ist die Beschränkung auf die unteren Bereiche der Meterwellen gemeinsam, wobei normalerweise 60 bis 70 MHz, bei Ausbreitung über die sporadische E-Schicht 100 MHz kaum überschritten werden. Neben diesen Ausbreitungsarten gibt es noch eine Ausbreitung über die F<sub>2</sub>-Schicht und Reflexionen an Ionisationswolken, die anlässlich ausgeprägter Nordlichterscheinungen auftreten, besonders im Zeitraum starker Sonnenfleckenaktivität.

Eine weitere gelegentlich auftretende Ausbreitungsmöglichkeit für Meterwellen bis etwa 100 MHz besteht über die sporadische E-Schicht, im folgenden mit E<sub>s</sub> bezeichnet. Die am 18. und 19. Mai 1957 beobachteten

Superreichweiten sind offensichtlich auf solche Reflexionen zurückzuführen. Als E<sub>s</sub>-Schicht wird das Auftreten einer außerordentlich kräftigen Erhöhung der Trägerdichte in einer Höhe von etwa 100 km bezeichnet. Die E<sub>s</sub>-Schicht ist sehr unregelmäßigen Veränderungen unterworfen und zeigt eine entsprechende Struktur. Über ihre genaue Entstehungsursache besteht noch keine einheitliche Meinung. Vermutlich kommt eine Meteorionisation in Betracht, die allerdings den ausgeprägten täglichen Gang nicht erklären könnte, oder es handelt sich um eine Molekülsrekombination des Sauerstoffs. Bei diesem Vorgang würde die bei der Rekombination freierwerdende Energie ausreichend sein, das neue Molekül zu ionisieren.

Die E<sub>s</sub>-Schicht besitzt einen ausgesprochenen jährlichen Gang und tritt vorwiegend im Sommer auf. Im Winter wird die E<sub>s</sub>-Schicht kaum beobachtet, wie auch aus Bild 1 hervorgeht.

Neben dem ausgeprägten jährlichen Gang findet sich auch ein täglicher Gang mit einem Maximum gegen Mittag und einem Nebenmaximum am späten Nachmittag (Bild 2).

Außerhalb des eigentlichen Versorgungsgebietes eines Fernseh- oder UKW-Senders nehmen die Empfangsmöglichkeiten laufend ab, und in größeren Entfernungen können nur noch Überreichweiten in der Troposphäre ein ausreichendes Signal hervorbringen. Auch die Ausbreitung durch abnormale ionosphärische Zustände beschränkt sich auf einen bestimmten Entfernungsbereich vom Sender. Im Bild 3 ist die relative Häufigkeit von Weitempfang durch abnormale Ausbreitungsbedingungen nach in den USA durchgeführten Empfangsbeobachtungen wiedergegeben. Man erkennt deutlich einen Anstieg der Häufigkeit ab etwa 700 Meilen, und nach Erreichen einer maximalen Häufigkeit in einer Entfernung von 1000 Meilen geht die Empfangsmöglichkeit sehr schnell zurück. Es dürfte aus den Ausführungen hervorgehen, daß die am 18. und 19. Mai 1957 beobachteten Fernausbreitungen über die

Fortsetzung auf der 3. Umschlagseite

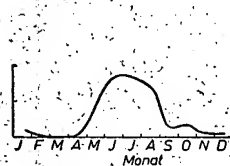


Bild 1: Jährlicher Gang der sporadischen E-Schicht. Mittelwert der europäischen Stationen Lindau, Schwarzenburg und Slough für 1953 und 1954. E<sub>s</sub> < 7 MHz

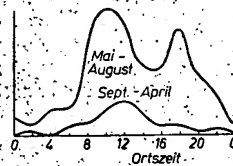


Bild 2: Tägliche Veränderlichkeit der E-Schicht für 1953 und 1954. Mittelwert aus den Stationen Lindau, Schwarzenburg und Slough. E<sub>s</sub> < 7 MHz

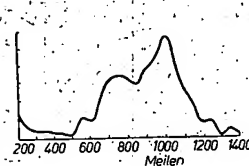


Bild 3: Relative Häufigkeit des Empfangs bei abnormalen Ausbreitungsbedingungen im Frequenzbereich 54 bis 88 MHz nach Fernsehempfangsbeobachtungen in USA

## Bestellungen nehmen entgegen

für die Deutsche Demokratische Republik: Sämtliche Postämter, der örtliche Buchhandel und der Verlag

für die Deutsche Bundesrepublik: Sämtliche Postämter, der örtliche Buchhandel und der Verlag. Auslieferung über HELIOS Literatur-Vertriebs-GmbH, Berlin-Borsigwalde, Eichborndamm 141-167

## Für das Ausland:

Volksrepublik Albanien: Ndermarrja Shtetnore Botimeve, Tirana

Volksrepublik Bulgarien: Pischchalni proizvodnia, Sofia, Légué 6

Volksrepublik China: Guozhi Shidian, Peking, P.O. B. 50 und Hsin Hua Bookstore, Peking, P.O. B. 329

Volksrepublik Polen: P. P. K. Ruch, Warszawa, Wilcza 46

Rumänische Volksrepublik: C. L. D. C. Baza Carte, Bukarest, Cal Mosilor 62-68

Tschechoslowakische Volksrepublik: Orbis Zeitungsvertrieb, Praha XII, Stalinova 46 und Bratislava, Postovy urad 2

UdSSR: Die städtischen Abteilungen: "Sojuzpechat", Postämter und Bezirkspoststellen

Ungarische Volksrepublik: Allami könyvterjesztő vállalat, Budapest, Deak Ferenc U. 15

Für alle anderen Länder: Verlag DIE WIRTSCHAFT, Berlin NO 18, Am Friedrichshain 22

# RADIO UND FERNSEHEN

2. JUNIHEFT  
6. JAHRGANG**12**

1957

ZEITSCHRIFT FÜR RADIO · FERNSEHEN · ELEKTROAKUSTIK · ELEKTRONIK

## Zum Internationalen Geophysikalischen Jahr 1957/58

Während die Naturwissenschaft vergangener Jahrhunderte eine vorwiegend spezialisierte — und mehr noch als das — eine voneinander isolierte Forschung in den einzelnen Wissensgebieten betrieb, hat sich die Methode in der Neuzeit grundlegend gewandelt. Die Analyse der Naturerscheinungen und ihre theoretische Betrachtung ergaben Parallelen und Zusammenhänge, deren Auswertung zu unserem heutigen Weltbild führt, einem Weltbild, das in sich geschlossen ist, also keine Trennung mehr kennt zwischen Mechanik, Optik, Elektrizitätslehre, Chemie, Biologie... Dem Hochfrequenztechniker und Elektroniker sind diese Tatsachen nicht unbekannt. Er weiß, daß der Ausschlag seines Spannungsmessers hervorgerufen wird durch die magnetische Wirkung bewegter elektrischer Ladungen, er kennt das Leuchten des Bildschirms am Fernsehempfänger, die Leuchterscheinung des Magischen Auges und ihr Zustandekommen durch das Eindringen energiereicher Elektronen in die Atomhülle der Leuchtstoffatome, er beobachtet täglich die vielfältigen Zusammenhänge zwischen Wetter bzw. Tageszeit und Empfangsqualität auf den verschiedenen Wellenbereichen.

Wir haben, um einmal die Kenntnis von den großen Zusammenhängen noch mehr zu vertiefen und um zum anderen zu zeigen, in welchen völlig „abseitigen“ Wissensgebieten die elektronische Technik ein unentbehrliches Hilfsmittel geworden ist, das Internationale Geophysikalische Jahr 1957/58 zum Anlaß genommen, den Inhalt des vorliegenden Heftes auf einige dieser Forschungsaufgaben auszurichten.

Um dabei eine gewisse Systematik zu wahren, beschränken wir uns auf folgende Komplexe:

1. Die Radiostrahlung der Sonne, ihre Messung, Meßmethoden und Geräte.
2. Die Ionosphäre und ihre Erforschung, das Magnetfeld der Erde.
3. Elektronische Hilfsmittel der Meteorologie, Methoden und Vorrichtungen zur Erforschung der Hochatmosphäre (Raketen und Satelliten).

Die Errichtung und Inbetriebnahme des Radioteleskops der Universität Bonn rückte bereits vor einiger Zeit die Radioastronomie in den Blickpunkt der Hochfrequenzfachleute. Es erschien uns daher an der Zeit, die bereits seit Ende 1951 im Heinrich-Hertz-Institut der Deutschen Akademie der Wissenschaften in Berlin laufenden Arbeiten einer breiteren Öffentlichkeit bekanntzugeben. Das Institut befaßt sich auf radioastronomischem Gebiet vorwiegend mit Beobachtungen der Radiostrahlung der Sonne und hat im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit im Geophysikalischen Jahr wesentliche Aufgabenkomplexe übernommen. Ebenso sollen unsere Veröffentlichungen auf andere Forschungen hinweisen, die nur im internationalen Maßstab erfolgreich sein können und an denen die Institute der Deutschen Demokratischen Republik maßgeblich beteiligt sind, so z. B. Beobachtungen der Ionosphäre, Ausbreitungsmessungen der elektromagnetischen Wellen und die gesamte Wetterkunde, deren populärstes Ergebnis, nämlich die Wettervorhersage, stets nur auf Grund der Messungen und Beobachtungen vieler Observatorien möglich ist.

Als Mitarbeiter an diesem Heft und als Autoren der Arbeiten des Komplexes 3, die wir im Heft 14 veröffentlichen, haben sich dankenswerterweise folgende Herren zur Verfügung gestellt:

Dr. *Paul Beelitz*, Leiter des Radiosondendienst beim Meteorologischen und Hydrologischen Dienst der Deutschen Demokratischen Republik, Berlin

Dipl.-Ing. *Fritz Fürstenberg*, Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung der Deutschen Akademie der Wissenschaften, Berlin

Ing. *Martin Görsdorf*, Observatorium Lindenberg des Meteorologischen und Hydrologischen Dienstes der Deutschen Demokratischen Republik

Ing. *Erich Hüttmann*, VEB Wissenschaftlich-technisches Büro für Gerätebau, Berlin

Dozent Dr. med. habil. *Udo Köhler*, Oberarzt an der 2. Medizinischen Klinik der Martin-Luther-Universität, Halle (Saale)

Ing. *Hans-Jochen Linke*, VEB Wissenschaftlich-technisches Büro für Gerätebau, Berlin

Dipl.-Ing. *Dankwart Obst*, Observatorium Lindenberg des Meteorologischen und Hydrologischen Dienstes der Deutschen Demokratischen Republik

Ing. *Helmut Prinzer*, Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung der Deutschen Akademie der Wissenschaften, Berlin

Ing. *Helmut Stadlmann*, Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung der Deutschen Akademie der Wissenschaften, Berlin

Dr. *Jens Taubenheim*, Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung der Deutschen Akademie der Wissenschaften, Berlin

Dr. *Hans Volland*, Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung der Deutschen Akademie der Wissenschaften, Berlin

*Diedrich Wattenberg*, Leiter der Archenhold-Sternwarte, Berlin-Treptow

Weiterhin sind wir zu Dank verpflichtet Herrn Prof. Dr. *Hachenberg*, Direktor des Heinrich-Hertz-Instituts, und Herrn Ing. *Willi Thielicke*, Leiter der Abt. Hochfrequenz im VEB Wissenschaftlich-technisches Büro für Gerätebau, die der Redaktion beratend zur Seite standen.

Die Redaktion

DIEDRICH WATTENBERG

## Aufgaben des Internationalen Geophysikalischen Jahres 1957/58

Am 1. Juli 1957, um 0 Uhr Weltzeit (= 1 Uhr MEZ), beginnt in der ganzen Welt das Internationale Geophysikalische Jahr, abgekürzt = AGJ von Année Géophysique Internationale<sup>1)</sup>, das bisher größte und bedeutendste Forschungsunternehmen der Wissenschaft. In 55 Ländern werden rund 10000 Forscher und Helfer die Arbeiten an einem umfangreichen Beobachtungsprogramm aufnehmen, das sich auf fast alle physikalischen Erscheinungen der Erde als Planet einschließlich ihrer Wasser- und Lufthülle beziehen wird. Da in diesen Fragenkomplex auch kosmische Beziehungen eingreifen, werden neben den Forschern der Erde (Geodäten, Geologen, Geographen, Magnetiker, Meteorologen, Hochfrequenztechniker, Ozeanographen und Polarforscher) auch Astronomen und Astrophysiker tätig sein, um den zahlreichen Fragen und Problemen nachzugehen, die sich auf die Wechselwirkungen zwischen Erdgeschehen und den Vorgängen auf der Sonne beziehen.

Wenn es in der Vergangenheit auch Forschungsvorhaben in dem jetzt bevorstehenden Ausmaß nicht gegeben hat, so ist in den letzten 120 Jahren doch dreimal der Versuch gemacht worden, Teilfragen der Geophysik durch zwischenstaatliche Zusammenarbeit einer Lösung zuzuführen. An erster Stelle sind die Bemühungen von K. F. Gauß und W. Weber in Göttingen zu erwähnen, die im Rahmen der Arbeiten des von ihnen gegründeten Magnetischen Vereins in den Jahren 1836 bis 1841 an rund 40 Punkten der Erdoberfläche magnetische Messungen anstellen ließen. Die dazuhinangezogenen oder eingerichteten Stationen waren von Europa bis nach Kanada und Sibirien sowie nach Südafrika und an die Grenze der Antarktis verteilt. Sie hatten den Auftrag, an vorher genau festgelegten Kalendertagen in Zeitintervallen von jeweils fünf Minuten magnetische Beobachtungen durchzuführen. Die dabei benutzten Instrumente waren durchweg dieselben und zumeist aus Göttinger Werkstätten hervorgegangen.

Während des ersten Internationalen Polarjahres 1882/83 wurden die von Gauß und Weber begonnenen Arbeiten auf eine wesentlich breitere Grundlage gestellt. Von 11 Staaten wurden insgesamt 13 arktische und zwei antarktische Expeditionen ausgerüstet, denen neben der Messung magnetischer Äußerungen der Erde vor allen Dingen die Erforschung der Welt des ewigen Eises übertragen war, von der man bereits wußte, daß von ihr maßgebliche Wirkungen auf die Witterungsvorgänge in den mittleren geographischen Breiten der Erde ausgingen. Hinzu kamen andere geophysikalische, geographische, astronomische und auch biologische Forschungsergebnisse, die unser Wissen von den Polarregionen systematisch erweiterten.

Ein zweites Polarjahr konnte 50 Jahre später unter Beteiligung von 48 Ländern

(ohne Deutschland) vom 1. August 1932 bis zum 31. Juli 1933 durchgeführt werden. Diesmal verteilten sich die anzustellenden Beobachtungen über weite Gebiete der gesamten Erdkugel. Zwar waren in der Arktis nicht weniger als 43 Beobachtungsstationen errichtet worden und sechs Expeditionen in der Antarktis tätig, allein das weiträumige Forschungsprogramm dieses Jahres umfaßte praktisch alle Fragen der modernen Geophysik, wie sie sich in den magnetischen, meteorologischen, hydrologischen, ozeanographischen und elektrischen Erscheinungen widerspiegelten, zu denen ferner geodätische Längenbestimmungen und biologische Beobachtungen hinzukamen. Auf jeden Fall gelang es, ein ausgedehntes Beobachtungsmaterial zu gewinnen, das in jahrelanger mühevoller Kleinarbeit ausgewertet werden mußte.

Seither hat die moderne Naturforschung auf allen Gebieten ungeahnte Fortschritte gemacht, an denen auch die Entwicklung der Technik einen wesentlichen Anteil besitzt. Zu den an sich gebliebenen geophysikalischen Einzelfragen haben sich neue hinzugesellt, die sich in der Hauptsache aus den Fortschritten der Sonnenphysik und den Methoden der elektrophysikalischen Forschung ergeben haben, wie sie von der Hochfrequenztechnik vor allem in der Radioastronomie zur Anwendung gekommen sind und in der Radarpraxis der Meteorologie Fuß gefaßt haben. Es war deshalb naheliegend, den bisher 50jährigen Turnus der international organisierten geophysikalischen Forschungen zu verlassen und schon nach 25 Jahren ein neues Forschungsjahr durchzuführen, an dem sich möglichst viele Länder und Forscher der ganzen Welt beteiligen sollten, um die verbliebenen Probleme der Geophysik einer möglichst raschen und umfassenden Lösung zuzuführen.

Der entscheidende Schritt wurde 1951 getan. Damals faßte die UNESCO auf Grund von Anregungen und Vorschlägen, die von der Meteorologischen Weltorganisation (MWO), der Internationalen Union der Geodäsie (IUG), der Internationalen Union für Radiologische Wissenschaften (URSI), der Internationalen Geographischen Union (IGU) und der Internationalen Astronomischen Union (IAU) ausgegangen waren, den Beschluß, vom 1. Juli 1957 bis zum 31. Dezember 1958 ein IGJ durchzuführen, so daß zu dessen Vorbereitung ein Sonderausschuß berufen wurde (Comité Spécial de l'Année Géophysique Internationale), als dessen Präsident der englische Geophysiker Professor S. Chapman (Oxford) seither fungiert. Auf insgesamt vier Tagungen des Sonderausschusses in Brüssel (1953 und 1955), in Rom (1954) und Barcelona (1956) wurde das Forschungsprogramm in großen Zügen festgelegt, das in den teilnehmenden Ländern möglichst nach einheitlichen Gesichtspunkten, jedoch unter Wahrung der jeweils gegebenen Möglichkeiten zur

Durchführung kommen soll. Zu diesem Zweck sind in den beteiligten Staaten Nationalkomitees oder Landesausschüsse gebildet worden. So wird das Nationalkomitee der Deutschen Demokratischen Republik von dem Vizepräsidenten der Deutschen Akademie der Wissenschaften, Prof. Dr. H. Ertel, geleitet, während im westdeutschen Landesausschuß der Direktor des Geophysikalischen Instituts der Universität Göttingen, Prof. Dr. J. Bartels, den Vorsitz führt.

Das jetzt beginnende IGJ erhält seine besondere Note durch die Tatsache, daß es nahezu mit einem Sonnenfleckenmaximum zusammenfällt. Zur Zeit des Polarjahres 1932/33 hatte die Sonnenaktivität gerade ihr Minimum erreicht, so daß es angesichts dessen, daß durch die Entwicklung der Radioastronomie und Ionosphärenforschung zahlreiche neue Beziehungen zwischen den physikalischen Prozessen auf der Sonne und der Erde bekannt wurden, wünschenswert erschien, diesmal alle Fragen der Geophysik vor dem Hintergrund der sich steigenden Sonnenaktivität zu untersuchen.

Ein Sonnenfleckenmaximum war zuletzt im Jahre 1948 erreicht worden. Unter Berücksichtigung der mittleren Sonnenfleckenperiode von etwa 11 Jahren um 1958/59 konnte daher ein neues Maximum erwartet werden. Nach dem letzten Fleckenminimum im Sommer 1954 setzte aber sehr bald ein sehr steiler Aufstieg der Sonnenaktivität ein, so daß schon im Sommer 1956 feststand, daß sich das neue Fleckenmaximum erheblich verfrühen und etwa im Frühjahr 1957 einstellen würde. Soweit sich aber gegenwärtig sagen läßt, ist das Maximum der Sonnenaktivität bereits im November 1956 erreicht worden, da in diesem Monat die bisher höchste Sonnenfleckenrelativzahl (Monatsmittel) ermittelt werden konnte. Das Programm des IGJ gliedert sich in seinen Hauptzügen in drei große Teilgebiete, die sich mit knappen Stichworten wie folgt umschreiben lassen:

1. Astrophysik: Überwachung der Sonnenaktivität, Messung der kosmischen Strahlung (Sonne und interstellarer Raum), Radioastronomie (Sonne und Milchstraße), Zodiakallicht, Häufigkeit der Meteore (Radarbeobachtungen).

2. Physik der festen Erdkugel: Gestalt der Erde, gravimetrische Aufnahme unerforschter Gebiete der Erdoberfläche, Struktur der Erdrinde, Seismologie, Erdmagnetismus, Glaziologie, Ozeanographie und Polarforschung.

3. Physik der Erdatmosphäre: Meteorologie (Troposphäre, Stratosphäre), Ozonschicht, Ionosphäre, Polarlichter, leuchtende Nachtwolken und Nachthimmelslicht.

<sup>1)</sup> In den folgenden Ausführungen verwenden wir die deutsche Abkürzung IGJ.



Die praktische Durchführung der erforderlichen Beobachtungen erfolgt nach einem besonderen Zeitplan, der neben den regulären Terminbeobachtungen noch sogenannte Welttage vorsieht, die mit bestimmten Ereignissen, wie z. B. mit Tagen starker Sternschnuppenfälle zusammenfallen können oder auch nach einem gewissen Alarmsystem dann spontan angesetzt werden, sobald besondere Vorgänge, die sich zumeist auf die Sonne beziehen dürften, dies als geboten erscheinen lassen.

In das Beobachtungssystem selbst sind alle stationären Observatorien der beteiligten Länder einbezogen. Zu ihrer Ergänzung werden in der ganzen Welt zahlreiche Hilfsstationen errichtet, die sich auf dem Festland, auf dem Meere (Inseln und Schiffe), in der Arktis und Antarktis sowie in der Troposphäre und Stratosphäre (Flugzeuge, Radiosonden) befinden werden. Hinzu kommen Raketen und künstliche Satelliten, die an der Grenze zwischen irdischer Hochatmosphäre und Weltraum völlig neue Forschungsmöglichkeiten erschließen sollen. Ein ungeheurer technischer Aufwand wird somit in den Dienst eines wissenschaftlichen Forschungsvorhabens gestellt, das in hohem Maße dazu angetan ist, die friedliche Zusammenarbeit der Wissenschaft in der ganzen Welt zu fördern und dem menschlichen Fortschritt nutzbar zu machen.

Obwohl sich die Beobachtungen über die ganze Erde ausdehnen werden, sind doch insgesamt sechs Zonen ausgewählt worden, in denen die Stationen möglichst dichte Folgen erreichen sollen. Da sind an erster Stelle die Polargebiete zu nennen. Beiderseits zum Erdäquator verläuft eine je  $10^\circ$  breite Zone, die von vielen Expeditionen aufgesucht werden wird, während entlang von drei Längengraden über die Kontinente hinweg weitere Beobachtungszonen gewonnen werden sollen, in denen die Beobachtungen möglichst intensiv wahrzunehmen sind. So verläuft die Zone parallel zum  $10^\circ$  Längengrad östlich von Greenwich von Spitzbergen über Skandinavien, West- und Mitteleuropa nach Südafrika; entlang dem  $140^\circ$  Längengrad östlich von Greenwich sind die Sowjetunion, China, Indonesien und Australien miteinander verbunden, während vom  $70^\circ$  und  $80^\circ$  Grad westlich von Greenwich Nord- und Südamerika überquert werden.

Die vielseitigen geophysikalischen Erscheinungen, die an allen Stationen und Observatorien beobachtet werden sollen, haben ihren Ursprung zumeist in solaren Vorgängen, die in verschiedenen Strahlungsarten Wechselwirkungen auf der Erde und in ihrer Atmosphäre auslösen. Ohne die Sonnenstrahlung würde es kein Wetter geben! Sie ist der große Motor, der die Zirkulation in der irdischen Luft-hülle bewirkt, ihre Thermodynamik bestimmt und ihr durch die Verdunstung ungeheurer Wassermassen einen ständigen Kreislauf ermöglicht. Hier gewinnen daher die vorgeschessenen Strahlungsmessungen an ausschlaggebender Bedeutung, wobei besonders untersucht werden soll, inwieweit sich die mit der Sonnenaktivi-

tät verbundenen Erscheinungen im Ablauf des Wettergeschehens wiederfinden lassen. Es ist unzweifelhaft, daß zwischen bestimmten Vorgängen, die sich im Sonnenfleckennmaximum häufen, Beziehungen zu meteorologischen Phänomenen bestehen, die bisher nur statistisch festzustellen waren, in ihren physikalischen Zusammenhängen aber noch wenig durchschaut sind. Hinzu kommen Beobachtungen der Lufttemperaturen, die in herkömmlicher Weise an der Erdoberfläche, aber auch täglich bis in Höhen von 30 km hinauf durch Radiosondenaufstiege gemessen werden sollen. Dasselbe gilt für Luftströmungen, Wolkenbildungen, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit und dem Ozongehalt der Atmosphäre.

Schließlich mögen neuere Beobachtungsmethoden genannt sein, die auf die Entwicklung der Radartechnik zurückgehen und zum Ziele haben, besonders solche atmosphärischen Vorgänge, die mit elektrischen Entladungen verbunden sind, durch Peilungen festzustellen und in ihrer Bewegung zu verfolgen. Dies kann heute über einige tausend Kilometer hinweg geschehen, wobei es gleichgültig ist, ob sich solche Ereignisse über dem Meere oder über weiten Wüstengebieten abspielen.

Die Vorgänge an der Sonnenoberfläche sind äußerlich durch das wechselnde Bild der Sonnenflecken gekennzeichnet, die einzeln und in ausgedehnten Gruppen auftreten, denen zuweilen über hundert Einzelflecken angehören. Mit den Flecken, die ihrerseits gewaltige Wirbelzonen darstellen und mit starken Magnetfeldern (bis zu 5000 Gauß) verbunden sind, treten ausgedehnte Fackelgebiete auf, die Lichtadern gleichen und Temperaturen von etwa  $7000^\circ$  besitzen, während die eigentliche Sonnenoberfläche, die Photosphäre, nur rund  $6000^\circ$  heiß ist. Die Fackeln senden vermehrt Ultraviolettstrahlung aus. Weiter beobachtet man besonders zur Zeit des Sonnenfleckennmaximums in der Nähe aktiver Fleckengebiete sogenannte chromosphärische Eruptionen, die spontane Ausbrüche von großen Strahlungs- und Energiemengen darstellen und womit gleichzeitig eine starke Steigerung partikulärer Strahlungen einhergeht, die an sich auch von den Fleckenwirbeln ausströmen und mehr oder weniger stark gebündelt in die Erdatmosphäre eindringen. In der solaren Partikelstrahlung wird also eine unmittelbare Übertragung von Sonnenmaterie zur Erde sichtbar, woran vermutlich auch Wasserstoff beteiligt ist.

Die Rückwirkungen in der Atmosphäre und an der Oberfläche der Erde sind verschiedener Natur. Am wirkungsvollsten prägt sich der Einfluß der solaren Störungen in den Vorgängen innerhalb der Ionosphäre mit ihren verschiedenen „Stockwerken“ aus. Zum anderen führt das Einstömen der Partikel in die Hochatmosphäre zu magnetischen Stürmen, die optisch im Auftreten der Polarlichter ihren Ausdruck finden. An den Leucht-vorgängen der Polarlichter, die in ihrer größten Häufigkeit auf die sogenannte Polarlichtzone beschränkt sind, gelegentlich aber auch bis Mittel- und Südeuropä-

sichtbar werden, sind vor allem atmosphärische Atome und Moleküle des Sauerstoffs und Stickstoffs beteiligt, zu denen sich auch Wasserstoff hinzugesellt. Im IGJ soll besonders das gleichzeitige Auftreten der Polarlichter in der Arktis und Antarktis sowie ihre Verbindung mit den magnetischen Kraftlinien der Erdoberfläche erforscht werden.

An der Erdoberfläche machen sich die magnetischen Stürme in ausgedehnten Störungen des Magnetfeldes bemerkbar. Dabei werden häufig elektrische Spannungen erzeugt, die sich namentlich in Skandinavien und Kanada durch störende Ströme in den Fernspreitleitungen bemerkbar machen und gelegentlich auch zu großen Schäden in diesen Anlagen führen können.

Weiter wird im Zusammenhang mit den Ausbrüchen auf der Sonne ein starkes Ansteigen der kosmischen Strahlung bemerkt, der ebenfalls Partikel (Atome und Atomteilchen) zugrunde liegen, die zu einem wesentlichen Teil der Sonne entströmen, in einer zweiten Komponente aber auch aus dem interstellaren Raum kommen.

Andere kosmische Einbrüche in die Hochatmosphäre stellen die Meteore und der ihnen verwandte kosmische Staub dar. Die Erforschung der Meteore ist heute weitgehend zur Aufgabe der Radarastonomie geworden, so daß sich dadurch unser Wissen von der Häufigkeit und der Bewegung der Meteorströme erheblich erweitert hat. Der Einbruch kosmischen Staubes führt zur Herausbildung der sogenannten „leuchtenden Nachtwolken“, während darüber hinaus Wechselwirkungen zwischen jenen Teilchen und der Elemente der Hochatmosphäre weitere Leuchterscheinungen verursachen, die im IGJ erhöhte Aufmerksamkeit beanspruchen. Im Zusammenhang hiermit möge ferner das Zodiakallicht erwähnt sein, das zwar dem außerirdischen Raum angehört, aber gleichfalls eine Erscheinung kosmischen Staubes darstellt, der sich in zwei großen Ringen im Sonnensystem anordnet und bis in die äußeren Bereiche der Sonnenkorona hineinreicht, die dadurch ebenfalls in diesen Forschungskomplex einbezogen werden wird.

Die Forschungen im Antlitz der Erde konzentrieren sich in der Hauptsache auf die Polargebiete. In der Arktis unterhält die Sowjetunion seit Jahren Beobachtungsstationen, die auf driftenden Eisschollen arbeiten und in den nächsten Monaten durch zahlreiche andere Stationen am Rande der Arktis ergänzt werden sollen. Insgesamt wird allein die Sowjetunion 100 arktische Stationen besetzt halten. Hier sollen erstmalig (von vier Stationen) Beobachtungen der Erdströme durchgeführt werden. Außerdem ist vorgesehen, mit Spezialkameras das Polarlicht spektrographisch und kinematografisch zu erforschen.

In der Antarktis werden Expeditionen von zwölf Staaten (Argentinien, Australien, Belgien, Chile, Frankreich, Großbritannien, Japan, Neuseeland, Norwegen, Spanien, Sowjetunion und USA) ausgedehnte Untersuchungen anstellen, die

sich auf meteorologische, seismologische und andere Probleme, wie das Vorkommen von Bodenschätzen und sonstige Rohstoffquellen, beziehen. Erstmals sollen in der Antarktis gravimetrische Messungen (Schwerkraftbestimmungen usw.) durchgeführt werden, so daß sich auch hier eine Aufgabe abzeichnet, die nicht allein Forscherneugier bedeutet, sondern auch von volkswirtschaftlichem Interesse sein wird.

Den Geodäten interessieren Fragen der Veränderlichkeit (Deformation) der Erdoberfläche durch die Gezeitenwirkung von Sonne und Mond, ferner die Verschiebung der Kontinente. Die Seismologie untersucht dagegen die Bebenaktivität in wenig erforschten Gebieten unseres Planeten. In Verbindung damit stehen Fragen nach der Tiefenstruktur der Erdkruste und der Erschütterung des Erdbodens durch Stürme und Fluten an fernen Küsten. Desgleichen fällt dem Glaziologen die Aufgabe zu, die Gletscherverhältnisse der Erde eingehend zu prüfen, das Anwachsen oder Abnehmen der Vergletscherung der Erdoberfläche und deren Beziehung zum Klima und den irdischen Lebensvorgängen zu erforschen, um dadurch neue Einblicke in eine mögliche Zukunft bestimmter Gebiete der Erde zu gewinnen. Würde beispielsweise das in allen Gletschern der Erde gebundene Wasser plötzlich frei werden, müßte der Wasserspiegel

der Weltmeere um rund 55 Meter ansteigen!

Schließlich ist noch von Interesse, ob der Mensch in der Lage sein wird, das Klima durch eine fortschreitende Industrialisierung zu verändern. Diese Möglichkeit hängt weitgehend von der Zunahme des atmosphärischen Kohlendioxids ab, wie sie durch die ständige Zuführung von Kohlenrückständen, Erdöl und natürlichen Gasen an die Atmosphäre erfolgt. So ist errechnet worden, daß im Laufe der nächsten 50 Jahre die aus industriellen Abgängen stammenden Kohlendioxidmengen der Lufthülle der Erde 1700 Billionen Tonnen (das sind 70% des gegenwärtigen Kohlendioxidanteils der Luft) erreichen werden, so daß darin Möglichkeiten für eine Veränderung des allgemeinen Klimas bestehen könnten. Von großer Bedeutung sind ferner die ozeanografischen Forschungen, die sich auf weite Gebiete der Weltmeere erstrecken sollen. Von den Kurilen bis nach Neuguinea, von den Azoren bis Grönland und von Südafrika bis zum antarktischen Kontinent werden etwa 140 Forschungsschiffe tätig sein, die neben der Erforschung biologischer Fragen (Fischgründe usw.) spezielle ozeanografische Fragen zu lösen haben werden, die sich auf Strömungen und den Wasseraustausch zwischen den einzelnen Breiten und den polaren Gewässern beziehen. Dabei wird

es z. B. um die Feststellung gehen, in welcher Weise und in welcher Zeit das Tiefenwasser einen Kreislauf von der Antarktis bis zum Äquator vollendet und welche Gesetzmäßigkeiten den Wasseraustausch ganz allgemein bestimmen. Alles das sind Fragen, die für die Meteorologie und Klimatologie von größter Bedeutung geworden sind.

Schließlich aber greift die Wissenschaft über den irdischen Erfahrungsraum und die bisherigen Beobachtungsverfahren weit hinaus, indem sie in großen Höhen der Erdatmosphäre in Form künstlicher Monde dahineilende Laboratorien schafft, die an der Schwelle des Weltalls Beobachtungen ausführen sollen, um Gewißheit darüber zu erlangen, inwieweit unsere Atmosphäre die primäre kosmische Strahlung verändert oder auslöscht.

Insgesamt werden diese umfangreichen Arbeiten in der ganzen Welt mehr als 1 Milliarde DM an Kosten verschlingen, worin die Aufwendungen für das Raketen- und Satellitenprojekt nicht eingeschlossen sind. Aber diese Ausgaben für einen friedlichen Wettstreit der Wissenschaftler werden sich mit Zins und Zinseszins bezahlt machen, da sie nicht nur die Wissenschaft bereichern, sondern in hohem Maße dazu beitragen werden, die menschlichen und zwischenstaatlichen Beziehungen in der ganzen Welt auf eine neue Ebene zu erheben.

FRITZ FÜRSTENBERG

## Die Radiostrahlung der Sonne

Im Jahre 1932 stellte Jansky anlässlich einer Arbeit über die Störquellen des Funkempfanges fest, daß in bestimmten Frequenzbereichen Störungen auftreten, deren Intensität mit der Rotation der Erde im Weltenraum korreliert. Er kam schon damals zu dem Schluß, daß die Quellen dieser Strahlung außerhalb der Erde liegen müssen. Aber diese Feststellung blieb viele Jahre hindurch unbeachtet. Erst als man im zweiten Weltkrieg entdeckte, daß auch von der Sonne Radiostrahlung ausgeht, befaßte man sich näher mit diesen Problemen. Man erkannte, daß uns nicht nur Lichtsignale aus dem Weltenraum erreichen, sondern auch die längeren elektromagnetischen Wellen als Boten von fernen Welten zu uns gelangen. Heute ist bekannt, daß Hochfrequenzstrahlung aus dem Gebiet von den Millimeterwellen bis zu den Meterwellen aus dem Weltenraum auf die Erdoberfläche gelangt. Die längeren Wellen (Kurzwellen) erreichen uns nicht, da sie von der Ionosphäre in der hohen Erdatmosphäre reflektiert, bzw. absorbiert werden. Bei den unteren Millimeterwellen und noch kleineren Wellenlängen verhindert die Absorption des Sauerstoffs und des Wasserdampfes der unteren Atmosphäre eine Messung der extraterrestrischen Strahlung. Auch ist hier die Gerätetechnik noch nicht so weit entwickelt wie in den anderen Frequenzgebieten. Das Eigenrauschen der Emp-

fangsgeräte liegt hier noch wesentlich höher, so daß die Empfindlichkeit der Empfänger geringer ist.

Die unserer Erde am nächsten gelegene intensive Strahlungsquelle ist die Sonne. Von ihr sind Radiostrahlungen von 3 mm bis 20 m Wellenlänge gemessen worden. Im Gegensatz zu den optischen Wellenlängen ist diese Strahlung zeitlich nicht konstant, sondern weist verschiedenartige Variationen auf. Man unterscheidet drei Komponenten der solaren Radiostrahlung:

1. Die ungestörte Strahlung. Diese Komponente ist der zeitlich konstante Anteil der Gesamtstrahlung. Er tritt nur in Zeiten der Sonnenfleckenminima ohne die anderen Komponenten auf.
2. Die gestörte Strahlung. Diese Strahlungskomponente ist fast immer der ersten Komponente überlagert. Sie steht je nach dem betrachteten Wellenbereich in mehr oder minder engem Zusammenhang mit den Sonnenflecken. Ihre Variation ist sehr langsam und nur über mehrere Stunden bzw. Tage meßbar.
3. Strahlungsausbrüche. Diese Komponente hat vielfältige Erscheinungsformen. Sie steht in engem Zusammenhang mit Sonneneruptionen. Ihre Variation ist schnell. Man kann große Veränderungen der Intensität innerhalb weniger Minuten oder Sekunden feststellen. Die Dauer der gesamten Erscheinung schwankt zwischen wenigen Sekunden und einigen Stunden.

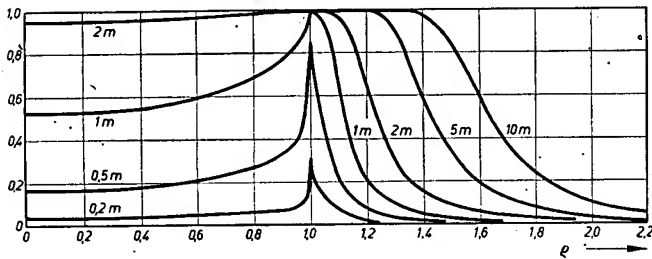
Die Ursachen der ungestörten Strahlung der Sonne sind heute weitgehend bekannt. Theoretisch wurde diese Radiostrahlung von der Sonne bereits seit langer Zeit vermutet. Auf Grund der hohen Temperaturen auf der Sonnenoberfläche nahm man seit langem an, daß die Sonne als schwarzer Körper<sup>1)</sup> Energien im Hochfrequenzbereich ausstrahlen müßte. Nach dem Rayleigh-Jeanschen Strahlungsgesetz müßte die Intensität der Strahlung

$$E = \frac{2f^2 k}{c^2} T \text{ sein.}$$

(k = Boltzmannsche Konstante, c = Lichtgeschwindigkeit, T = absolute Temperatur, f = Frequenz)

Tatsächlich treten aber bei den Messungen der ungestörten Sonne im Radiowellengebiet wesentlich höhere Temperaturen auf, als aus den optischen Messungen der Sonnenoberfläche bekannt sind. Die gemessenen Temperaturen im Wellengebiet von 1 cm liegen bei 60 000° K und stimmen gut mit den optischen Messungen überein. Für die längeren Wellen steigen die Temperaturen an und erreichen im Meterwellengebiet bis zu 2 000 000° K. Auf Grund von Messungen bestimmter Emissionslinien der Sonnenkorona nahm man an, daß in den oberen Schichten der Sonnenatmosphäre Temperaturen in die-

<sup>1)</sup> Siehe Beitrag „Eigenschaften einiger Rauschquellen“ auf S. 375.



ser Größenordnung herrschen. Die radioastronomischen Messungen im Meterwellengebiet bestätigten dies. Die Strahlungsquellen für die Meterwellen liegen in den Gebieten der Korona (ungefähr 1,2 bis 1,8 Sonnenradien vom Mittelpunkt entfernt). Für dieses Wellengebiet ist die Korona als schwarzer Körper anzusehen. Meterwellen können nicht tiefer in die Sonne eindringen, bzw. aus tieferen Gebieten der Sonne austreten. Der Brechungsindex eines ionisierten Gases ist nach der Elektronentheorie:

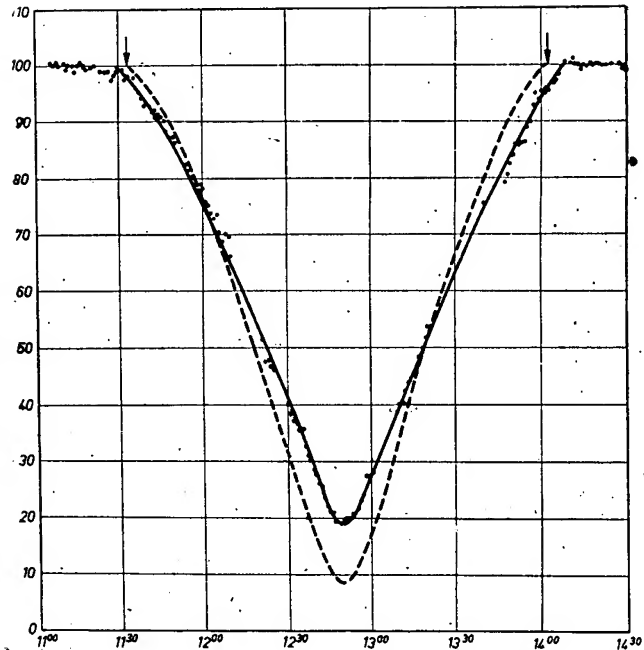
$$n = \sqrt{1 - \frac{e^2 N_e}{\pi m f^2}}$$

(e = Ladung des Elektrons, m = Masse des Elektrons,  $N_e$  = Elektronendichte, f = Frequenz).

Da aus dem Helligkeitsverlauf der Korona die Elektronendichte in Abhängigkeit von der Höhe auf der Sonne annähernd bekannt ist, ist es möglich, die untere Grenzschicht näherungsweise zu bestimmen, bis zu der die Strahlen einer bestimmten Frequenz in die Sonnenatmosphäre eindringen können. Diese Grenzschicht liegt für jede Wellenlänge verschieden hoch und nähert sich mit kürzeren Wellen immer mehr der sichtbaren Sonnenoberfläche, der Photosphäre. Aus den Beziehungen über Elektronendichte, Ionendichte und Temperatur ist es möglich, die Vorgänge der Absorption bzw. Emission in den einzelnen Höhenschichten und für die verschiedenen Wellenlängen zu berechnen. Betrachtet man nun einen Strahl irgendeiner bestimmten Wellenlänge, der von der Grenzschicht ausgehend die Erde erreicht, so lassen sich die Strahlungsanteile der einzelnen Höhenschichten summieren. Diese sind unterschiedlich, je nachdem, ob der Strahl z. B. aus der Richtung des Sonnenzentrums oder vom Rande der Sonne kommt. Der Weg durch die Korona ist im letzteren Falle wesentlich länger; da der Strahl die Schichten nicht mehr senkrecht schneidet, werden die Strahlungsanteile der einzelnen Schichten größer. Auch der Anteil der einzelnen Schichten, relativ zur Grenzschicht betrachtet, ist je nach dem Wellengebiet verschieden. Während der Hauptbeitrag der Meterwellenstrahlung aus dem Gebiet unmittelbar oberhalb der betreffenden Grenzschicht kommt, treten bei den Dezimeter- und Zentimeterwellen in der Nähe ihrer Grenzschichten hohe Absorptionen auf, so daß der Beitrag darüberliegender Schichten wirksamer ist. Bild 1 zeigt den berechneten Helligkeitsverlauf für die Strahlen aus den Gebieten der Sonne bis zum Rand, wobei der optische Sonnenrand gleich 1 ist. Für die Meterwellen ist die Helligkeit vom Zen-

Bild 1: Theoretische Anteile der einzelnen Sehstrahlen der Sonne in Abhängigkeit von der Entfernung des Sonnenrandes ( $\rho = 1$  entspricht dem optischen Sonnenrand). Parameter: Wellenlänge (nach Waldmeier)

Bild 2: Bedeckungskurve der Sonnenstrahlung durch den Mond während des Sonnenfinsternis am 30. Juni 1954. Die Messungen erfolgten bei einer Wellenlänge von 20 cm in Glowe/Rügen (HHI). Gestrichelte Kurve: optische Bedeckungskurve, ausgezogene Kurve: Bedeckungskurve eines Modells ähnl. Bild 3



trum der Sonne bis zur Grenzschicht der betreffenden Wellenlänge konstant. Das ist in diesem Falle weit über den optischen Rand hinaus. Die Korona strahlt für dieses Wellengebiet als schwarzer Körper und deckt damit alle tiefer liegenden Schichten ab. Da die Grenzschichten für längere Meterwellen höher liegen, wächst der Durchmesser der Sonne mit der Wellenlänge. Etwas anders sind die Verhältnisse im Bereich der Dezimeterwellen. Für diese Strahlung ist die Korona nicht mehr undurchsichtig, und es strahlt in der Richtung vom Sonnenzentrum die wesentlich kühleren Chromosphäre mit geringerer Intensität. Zum Sonnenrande steigt die Intensität an, da der Weg durch die Korona länger und der Strahlungsanteil derselben damit größer wird. Diese Wegverlängerung nimmt im Bereich des Sonnenrandes nahezu sprunghaft zu, da hier auch die Gebiete der Korona der von uns abgewandten Sonnenseite wirksam werden. Noch weiter außen nimmt die Intensität der Strahlung wieder ab, da die Schichten für die Wellenlänge immer

weniger wirksam und die Wege immer kürzer werden.

Nach dieser Theorie ergibt sich nun folgendes Erscheinungsbild der Sonne bei den Dezimeterwellen: Das Sonnenzentrum strahlt weniger intensiv als ein heller Ring in der Nähe des Sonnenrandes. Der Durchmesser der Sonne ist im Dezimetergebiet wenig größer als der optische. Bei noch kürzeren Wellen nähert sich das Erscheinungsbild der Sonne immer mehr dem optischen. Beide Bilder stimmen im Gebiet unterhalb 1 cm Wellenlänge überein.

Die experimentelle Bestimmung des Erscheinungsbildes der Sonne bei Radiowellen ist infolge der geringen Auflösung der Antennen schwierig. Es sind zwei Methoden der Bestimmung des Sonnenbildes im Radiowellengebiet bekannt. Aus Intensitätsabnahme und -anstieg der Radiostrahlung bei Sonnenfinsternissen ist eine Bestimmung möglich. Da die Bahn des Mondes bekannt ist, kann die gemessene Intensitätsveränderung bestimmten Flächenelementen zugeordnet werden,

Bild 3: Konstruktion des Sonnenbildes bei  $\lambda = 20$  cm. Die Darstellung erfolgte auf Grund der Messungen während einer Sonnenfinsternis am 30. Juni 1954 (HHI). Die Grautöne geben die Strahlungsintensität an

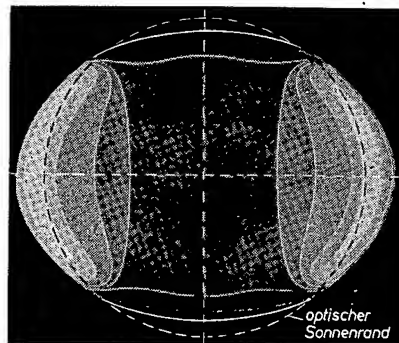
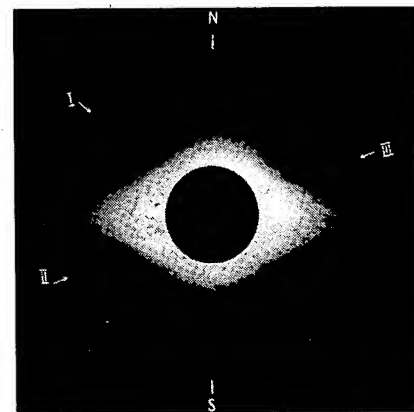


Bild 4: Die Sonnenkorona. Diese Aufnahme wurde bei der gleichen Sonnenfinsternis in der Totalitätszone gemacht (Aufnahme: Mädler)



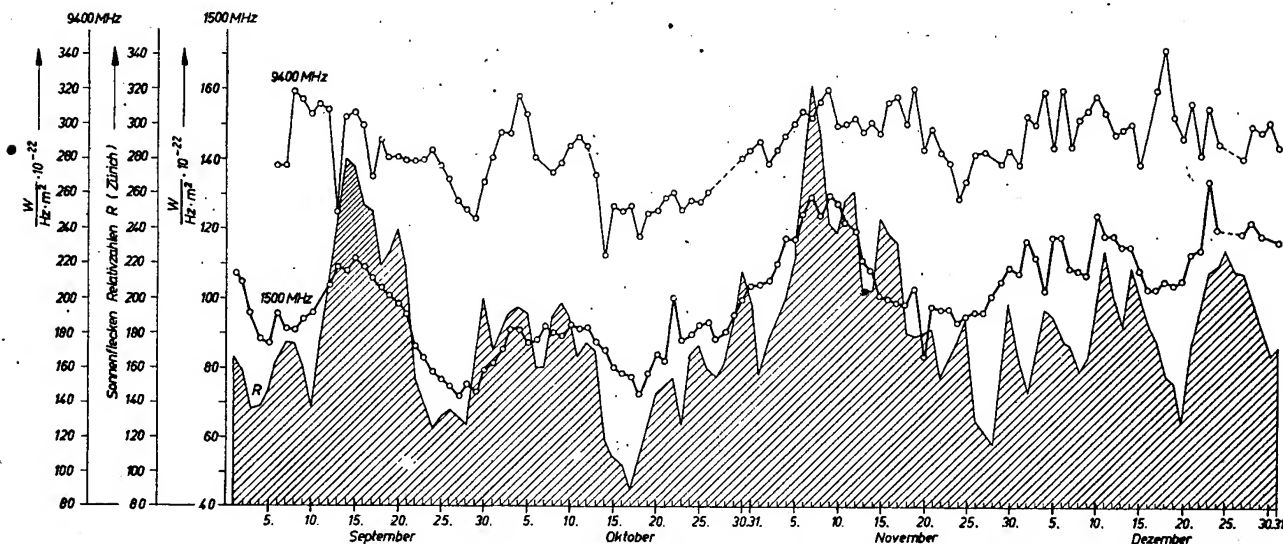


Bild 5: Die Tagesmittelwerte der Radiostrahlung der Sonne bei  $\lambda = 20$  cm und  $\lambda = 3$  cm (HHI) und die Sonnenfleckenrelativzahlen (Zürich) für den Zeitraum September—Dezember 1956

aus denen das Bild der Sonne konstruiert wird. Bild 2 zeigt eine derartige Finsterniskurve bei  $\lambda = 20$  cm. Diese Kurve wurde bei der Sonnenfinsternis am 30. Juni 1954 aufgenommen. Das aus diesen Messungen konstruierte Erscheinungsbild ist im Bild 3 zu sehen. Im Gegensatz zur Theorie ist das Erscheinungsbild der Sonne nicht kreissymmetrisch, sondern zu den Polen hin stark

komponente mit den Sonnenfleckenrelativzahlen sehr auffällig. Im Bild 5 sind die durchschnittlichen Tageswerte der Radiostrahlung der Sonne für die Monate September bis Dezember 1956 für 20 cm und 3 cm Wellenlänge aufgetragen. Die schraffierte Fläche gibt die Sonnenfleckenrelativzahlen für den gleichen Zeitraum an. Auch Interferometeruntersuchungen lassen den Zusammenhang

diese Strahlung im Dezimeterwellenbereich ebenfalls thermischen Ursprungs ist. Aus optischen Beobachtungen ist bekannt, daß die Korona über den Flecken verdichtet ist. Die Elektronendichte steigt in diesen Gebieten um etwa eine Größenordnung an. Damit nimmt auch die Intensität der Emission der Dezi- und Zentimeterwellen zu. Auch die Tatsache, daß diese Strahlung nur sehr langsam variiert und kaum polarisiert ist, verstärkt die Annahme ihres thermischen Ursprungs. Bild 7 zeigt eine typische Registrierung der gestörten Sonne bei  $\lambda = 20$  cm. Die Zeit läuft von rechts nach links. Eine Intensitätsänderung der Strahlung ist in einer so kurzen Zeitspanne nicht festzustellen. Ein Zeitmarkengeber gibt alle 10 Minuten einen kurzen Impuls in negativer Richtung. Ebenfalls in 10-Minuten-Abstand wird mit einem Rauschgenerator für etwa zwei Minuten eine konstante Rauschleistung erzeugt. Diese Maßnahme dient zur Überprüfung der Funktion des Empfanges und zur Kontrolle der Verstärkungskonstanz der Anlage. Außerdem wird in größeren Zeitabständen der Nullpunkt der Anlage überprüft. Dies geschieht durch Auslenkung der Antenne auf einen bestimmten neutralen Punkt des Himmels. Die Strahlung, die jetzt noch die Antenne erreicht, ist bei den Dezi- und Zentimeterwellen gegenüber der Sonnenstrahlung vernachlässigbar klein.

Im Meterwellengebiet ist der Zusammenhang zwischen der gestörten Strahlungskomponente und den Sonnenflecken in der Erscheinungsform anders. Die Intensität der Strahlung variiert zwar ebenfalls mit den auftretenden Sonnenflecken,

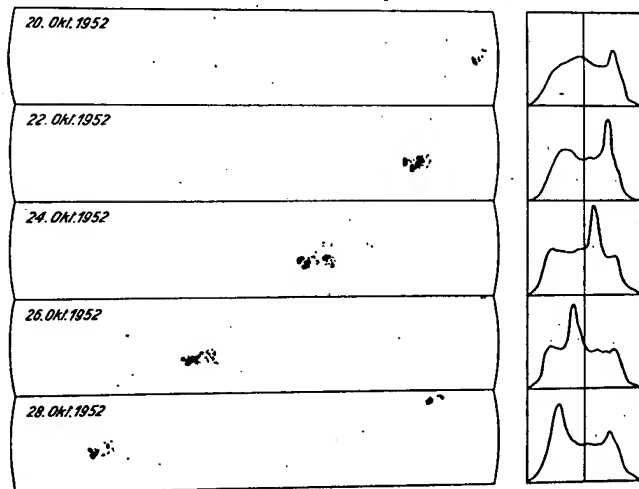


Bild 6: Örtlicher Zusammenhang zwischen Radiostrahlung und Sonnenflecken bei  $\lambda = 20$  cm. Auf der linken Seite sind die Positionen der Sonnenflecken auf der Sonnenscheibe für einige Tage eingezeichnet. Rechts die entsprechenden Interferometerregistrierungen (nach Christiansen und J.A. Warburton)

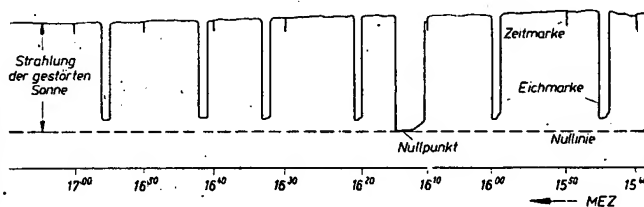
abgeplattet. Wahrscheinlich sind Elektronendichte und Temperaturverteilung auf der Sonne nicht kreissymmetrisch, wie es die Theorie annimmt. Dies zeigt auch das optische Bild der Korona, das bei der gleichen Sonnenfinsternis aufgenommen wurde (Bild 4). Die andere Methode zur Bestimmung des Erscheinungsbildes der Sonne ist die Messung mit Interferometerantennen.

Die ungestörte Komponente der Sonne ist in den meisten Fällen von der Strahlung der gestörten Sonne überlagert. Die gestörte Komponente variiert in Zeitspannen von Tagen, so daß ihre Beobachtung tägliche Sonnenmessungen notwendig macht. Im Dezimetergebiet ist die starke Korrelation dieser Strahlungs-

dieser Strahlungsquellen mit den Sonnenflecken erkennen (Bild 6). Taucht eine Sonnenfleckengruppe am Rande auf, so tritt in dem gleichen Gebiet eine Strahlungserhöhung ein, die mit der scheinbaren Bewegung der Flecken auf der Sonnenscheibe mitwandert.

Es wird allgemein angenommen, daß

Bild 7: Ein typischer Registrierstreifen der Radiostrahlung der Sonne bei  $\lambda = 20$  cm (Registrierung vom 26. April 1956, HHI)





steigt aber erst stark an, wenn sich der Fleck in der Nähe des Zentralmeridians befindet. Der Anstieg ist auch, auf die ungestörte Strahlung bezogen, wesentlich höher. Während bei  $\lambda = 20$  cm die Strahlung dieser Komponente bis zum sechsfachen Wert der ungestörten Sonne ansteigt, kann sie im Meterwellengebiet das  $10^3$ -fache der ungestörten Sonne erreichen. Bild 8 zeigt die scheinbare Wanderung eines Flecks auf der Sonnenscheibe und die gemessene Radiostrahlung. Der Ostrand der Sonne ist mit  $-1$ , der Zentralmeridian mit  $0$  und der Westrand der Scheibe mit  $+1$  bezeichnet. Es ist deutlich der Anstieg der Strahlung beim Durchwandern des Zentralmeridians zu erkennen. Die Strahlung der gestörten Sonne ist im Meterwellengebiet gebündelt. Die Schärfe der Bündelung steigt mit der Wellenlänge. Außerdem ist eine derartige Periode erhöhter Strahlung meistens von kurzzeitigen Strahlungsstößen begleitet, die nur wenige Sekunden dauern. Die Bandbreite dieser Strahlungsstöße beträgt nur wenige MHz.

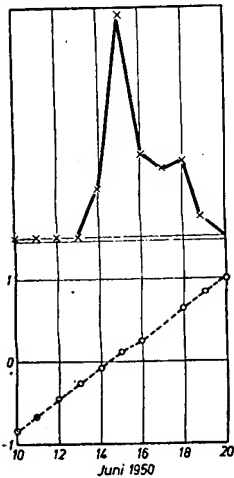


Bild 8: Zusammenhang von Radiostrahlung und der Position der Sonnenflecken im Meterwellengebiet. Unten die Position einer Fleckengruppe auf der Sonne.  $-1$  = Ostrand der Sonne;  $0$  = Zentralmeridian;  $+1$  = Westrand der Sonne. Oben die zur jeweiligen Position gemessene Intensität (nach Schklowskij)

Diese Erscheinungsformen schließen die Möglichkeit aus, daß es sich hier ebenfalls um thermische Strahlung handelt. Es wird angenommen, daß diese Strahlungskomponenten durch Plasmaschwingungen entstehen. Im Meterwellengebiet erreicht uns ein Teil der Strahlung aus dem Gebiet ihrer Grenzschicht. Da aber nun die Wellenlänge der Plasmaschwingungen in diesem Gebiet mit der betrachteten Wellenlänge identisch ist, ist es wahrscheinlich, daß auftretende Plasmaschwingungen von der Sonne abgestrahlt werden können. Aus dem Innern der Sonne kommende Partikelströme strahlen beim Erreichen der Grenzschicht elektromagnetische Energie dieser Wellenlänge ab.

Außer diesen beiden Komponenten radioastronomischer Strahlung tritt mitunter noch eine weitere Komponente auf. Besonders in der Zeit, in der die gestörte Strahlung einen hohen Wert hat, treten stärkere Strahlungen von Bruchteilen einer Minute bis zu mehreren Stunden Dauer auf. Die maximale Intensität derartiger Ausbrüche ist auch sehr unterschiedlich. Sie schwankt z. B. bei  $\lambda = 20$  cm zwischen wenigen Prozent und dem 50fachen des Tagesmittelwertes. Diese

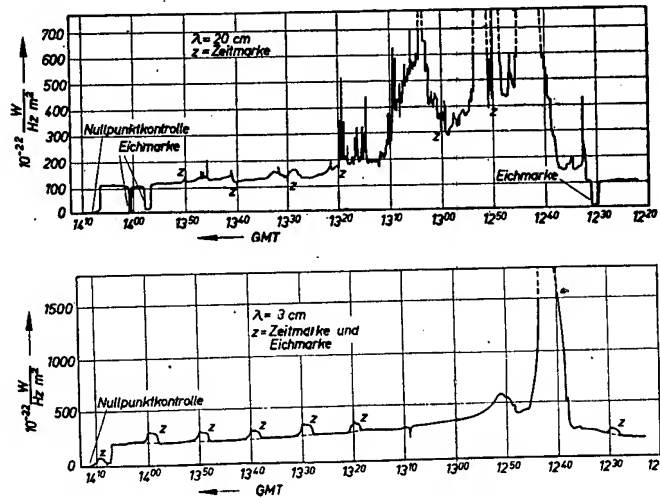


Bild 9: Der große Strahlungsausbruch der Sonne vom 30. August 1956. Radioastronomische Registrierung bei  $\lambda = 20$  cm und  $\lambda = 3$  cm. (HHI)

Erscheinungen treten nicht unbedingt bei allen Wellenlängen gleichzeitig auf. Sie beschränken sich mitunter auf ein bestimmtes Frequenzband. Häufig werden zur Zeit dieser Strahlungsausbrüche Eruptionen auf der Sonne in der  $H\alpha$ -Linie des optischen Spektrums beobachtet. Bild 9 zeigt einen großen Strahlungsausbruch, der während der heftigen Sonneneruption am 30. August 1956 gemessen wurde. Hier ist der Ausbruch bei 20 cm Wellenlänge unruhiger als bei  $\lambda = 3$  cm. Ein Ausbruch mittlerer Größe wurde am 16. April 1957 registriert (Bild 10). Der Beginn des Ausbruches liegt bei  $\lambda = 20$  cm etwas später als bei den kürzeren Wellenlängen. Bei den Meterwellen treten die Strahlungsausbrüche wesentlich häufiger als bei den Dezimeterwellen auf. Auch sind ihre Intensitäten wesentlich größer. Als Ursache der Strahlungsüberhöhung werden ebenfalls Plasmaschwingungen in den mit Sonneneruptionen verbundenen Partikelströmen vermutet.

Die radioastronomische Beobachtung hat einen großen Vorteil gegenüber der optischen. Die Beobachtungsmöglichkeit der Sonne bei sichtbaren Wellenlängen ist sehr stark von der Witterung abhängig. Wolken, Dunstschleier, Nebel beeinflussen die Meßgenauigkeit oder machen die Messung ganz unmöglich. Bei den Radiowellen ist dieser Einfluß um Größenordnungen geringer.

Wie bereits erwähnt, besteht ein Zusammenhang zwischen Strahlungsausbrüchen und Eruptionen auf der Sonne. Auch Beziehungen zwischen den Strahlungsausbrüchen der Sonne und terrestrischen Erscheinungen wie Mögel-Delinger-Effekte, magnetische Störungen, ionosphärische Erhöhung bei der Längstwellenausbreitung sind bekannt. Zur genauen Klärung der Zusammenhänge dieser Erscheinungen ist eine ständige Beobachtung der Sonne sowohl radioastronomisch als optisch erforderlich. Das Heinrich-Hertz-Institut ist im „Internationalen Geophysikalischen Jahr“ mit der radioastronomischen Beobachtung der Sonne bei folgenden vier Wellenlängen beauftragt:

- $\lambda = 20$  cm
- $\lambda = 15$  cm
- $\lambda = 10$  cm
- $\lambda = 3$  cm.

Die Sonne wird tagsüber auf diesen Frequenzen ständig beobachtet, und die Strahlungswerte werden registriert. Eine Fernschreibverbindung mit den anderen geophysikalischen Stationen ermöglicht einen raschen Austausch der Meßergebnisse über besondere Erscheinungen auf der Sonne.

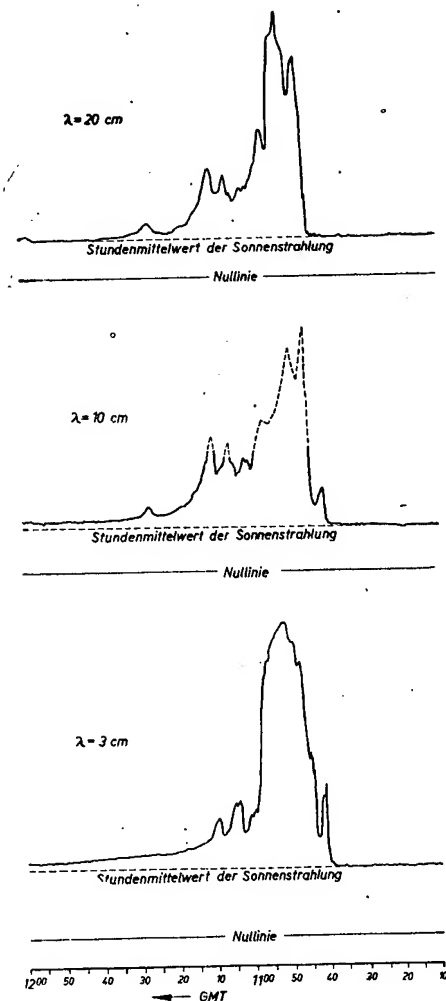


Bild 10: Ein mittlerer Strahlungsausbruch der Sonne (16. April 1957). Radioastronomische Registrierung bei  $\lambda = 20$  cm, 10 cm und 3 cm (HHI)

## Empfänger und Antennen der Radioastronomie

Die radioastronomische Meßtechnik stellt an Empfänger und Antennen neuartige, hohe Anforderungen. Es müssen Signale einwandfrei gemessen werden, deren Energie unter Umständen nur einige Promille des Eigenrauschens betragen. Zur Lokalisierung der Quellen mußten Richtantennen mit höherer Bündelungsschärfe entwickelt werden. Im vorliegenden Beitrag werden technische Fragen des Empfangs radioastronomischer Quellen gestreift und eine im Heinrich-Hertz-Institut entwickelte Anlage beschrieben.

### Empfänger

Im Vergleich zu den Leistungen, die in der Funktechnik den Empfängern zur Verfügung stehen, ist die Energie der radiofrequenten Strahlung der Sonne außerordentlich klein. Die Strahlungsdichte der ungestörten Sonne beträgt bei  $\lambda = 20 \text{ cm} \cdot 2 \cdot 10^{-21} \text{ W} \cdot \text{Hz}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ . Verwendet man zum Empfang einen Parabolspiegel von 8 m Durchmesser, der eine wirksame Antennenfläche von etwa  $30 \text{ m}^2$  hat und berücksichtigt weiterhin, daß mit einer normalen Antenne nur eine Polarisationsrichtung zu empfangen ist, so kann nur die Hälfte der Strahlungsdichte für den Empfang ausgenutzt werden. Die Antenne bietet dem Empfänger eine Leistung von  $\frac{1}{2} \cdot 30 \text{ m}^2 \cdot 2 \cdot 10^{-21} \frac{\text{W}}{\text{Hz} \cdot \text{m}^2}$

$= 3 \cdot 10^{-20} \frac{\text{W}}{\text{Hz}}$  an. Das sind etwa  $7,5 \text{ kT}_0$  oder  $2250^\circ \text{ K}$  Antennentemperatur. Das Eigenrauschen eines guten 20-cm-Empfängers beträgt etwa  $15 \text{ kT}_0$ , also bereits das Doppelte der von der ungestörten Sonne erhaltenen Energie. Nun ist die Sonne schon die stärkste radioastronomische Quelle, viele andere Quellen geben eine um Größenordnungen geringere Energie ab. Beschränkt man sich nur auf die Messung der Sonnenstrahlung und fordert für diese Messung eine Genauigkeit von  $\pm 2\%$ , so steht man bereits vor dem Problem, Energien zu messen, die nur einige Prozent des Eigenrauschens betragen.

Unvermeidlich ist also die Forderung nach möglichst geringem Eigenrauschen des Empfängers, die jedoch noch nicht für ein auswertbares Meßergebnis genügt. Bild 1 zeigt einen Registrierstreifen eines im Jahre 1953 durchgeführten Versuches. Hier ist ein gewöhnlicher Dezimeterempfänger an einen 8-m-Parabolspiegel angeschlossen worden.

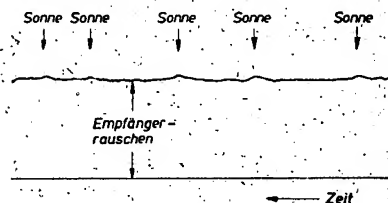


Bild 1: Registrierung der Sonnenstrahlen bei  $\lambda = 20 \text{ cm}$  mit einem kommerziellen Empfänger

Das Bild zeigt im wesentlichen das gleichgerichtete und geglättete Eigenrauschen der Anlage. An den mit einem Pfeil bezeichneten Stellen ist das Richtdiagramm des Parabolspiegels durch die Sonne hindurchgeschwenkt worden. Man kann zwar deutlich am Empfängeranfang eine Erhöhung des Rauschens feststellen, eine

zahlenmäßige Auswertung des Ergebnisses ist jedoch nicht möglich.

Einen Schritt weiter kommt man, wenn die von dem Eigenrauschpegel des Empfängers herrührende Gleichspannung  $U_r$  durch eine gleich große Spannung  $U_k$  kompensiert wird (Bild 2). Erhöht sich jetzt die Rauschleistung durch Vergrößerung der Antennentemperatur<sup>1)</sup>, so treten am Ausgang drei Gleichspannungskomponenten auf. Neben den beiden Komponenten  $U_r$  und  $U_k$  erscheint jetzt die durch die Erhöhung der Antennentemperatur entstehende zusätzliche Komponente  $\Delta U$ . Da sich nun  $U_r$  und  $U_k$  gerade kompensieren, verbleibt nur  $\Delta U$ , die

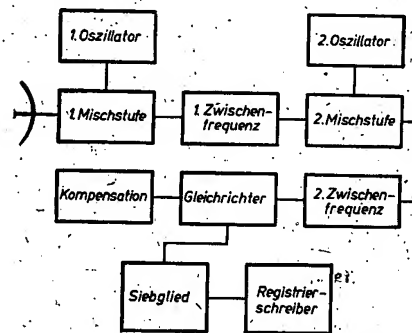


Bild 2: Schema des Kompensationsverfahrens

dann entsprechend weiter verstärkt werden kann.

Es hat zunächst den Anschein, als sei die so erzielte Empfindlichkeit lediglich eine Frage der Verstärkung der Spannung  $\Delta U$ . Tatsächlich ist dies nicht der Fall, sondern es gibt auch hier eine Grenze der Empfindlichkeit, die durch die Größe der inneren Schwankungen der Meßapparatur bedingt ist. Diese inneren Schwankungen entstehen nicht etwa durch Unvollkommenheiten der Meßapparaturen, sondern sie sind grundsätzlich immer vorhanden, also auch bei völlig stabil arbeitenden Apparaturen. Sie sind vergleichbar mit dem Auftreten der Brownschen Molekular-

bewegung, die ja z. B. auch das Messen kleinster Ströme mittels eines Spiegelgalvanometers begrenzt. Die Meßspule des Galvanometers wird dabei durch Zusammenstöße mit den Luftmolekülen in zitternde Bewegung versetzt, die ein Ablesen kleinster Zeigerauslässe verhindert.

Bei den Empfängern läßt sich diese Schwankungskomponente durch Erhöhen der hochfrequenten Bandbreite verringern; die Größe dieser inneren Schwankungen verhält sich umgekehrt proportional zur Wurzel aus der Bandbreite des Empfängers. Im Gegensatz zum Empfang üblicher Signale auf nur einer Frequenz wird hier der Empfang bei großer Bandbreite günstiger als bei kleiner. Eine weitere Verringerung dieser Schwankungen wird durch Einschalten eines Siebgliebes hinter die Gleichrichterdiode erreicht. Hier besteht dann Proportionalität zwischen dem mittleren Schwankungsquadrat und dem Kehrwert der Wurzel aus der Zeitkonstante des Siebgliebes. Je größer die Zeitkonstante, desto geringer die Schwankungskomponente der Messung.

Leider ist die Nullpunktstabilität einer solchen Kompensationsanlage nicht so groß, wie es zur Messung kleinster Energien erforderlich ist. Jede kleine Verstärkungsänderung stört das Kompensationsgleichgewicht und hat ein Wandern des Nullpunktes zur Folge. Ein Beseitigen dieses sehr störenden Effektes erreicht ein anderes Meßverfahren, das Modulationsverfahren.

Beim Modulationsverfahren werden zwei synchron arbeitende Schalter verwendet (Bild 3). Ein Umschalter wird in die Leitung zwischen Antenne und Hochfrequenzeingang des einfachen Empfängers (ohne Kompensationsspannung) eingefügt. Der zweite Umschalter liegt hinter der Gleichrichterdiode. An das offene Ende des HF-Schalters wird ein Ver-

<sup>1)</sup> Siehe Beitrag „Eigenschaften einiger Rauschquellen“ S. 375.

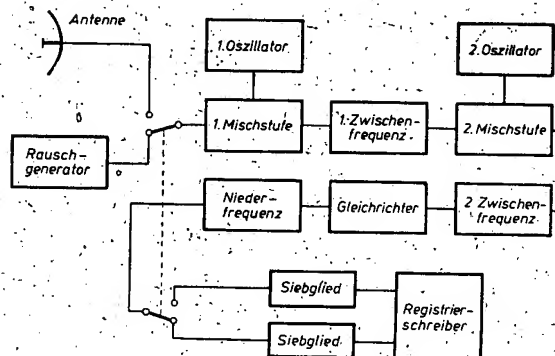


Bild 3: Schema des Modulationsverfahrens

gleichsnormal zum Erzeugen einer definierten Rauschleistung angeschlossen. Der zweite Umschalter schaltet die gleichgerichtete Rauschspannung abwechselnd auf zwei gleichartige Siebglieder.

Ist der HF-Umschalter auf Antenne geschaltet, so erhält man am Ausgang des ersten Siebgliedes eine Spannung  $U_A$ . Beim Umschalten auf das Vergleichsnormal erhält man am zweiten Siebglied eine Spannung  $U_R$ . Werden nun in gleichmäßigen Zeitabständen Antenne und Normal eingeschaltet und die Siebglieder so dimensioniert, daß ihre Zeitkonstanten sehr groß gegenüber dem Reziprokwert der Umschaltfrequenz sind, so entsteht an den Siebkettenausgängen eine Spannungsdifferenz, die der Differenz der Rauschtemperaturen zwischen Antenne und Normal proportional ist. Diese Meßspannung ist nahezu unabhängig vom Eigenrauschen der Anlage, außerdem ist das Meßverfahren unempfindlicher gegen kleine Verstärkungsschwankungen. Reicht die entstehende Meßspannung noch nicht zum Betrieb eines Registrierschreibers aus, so kann zwischen Gleichrichterdiode und zweitem Umschalter noch ein zusätzlicher NF-Verstärker eingeschaltet werden.

Bei der technischen Ausführung der dm-Anlagen wird weitgehend von der Koaxialtechnik Gebrauch gemacht. Bei den cm-Anlagen werden als Verbindungsleitungen dagegen Hohlleiter verwendet. Im allgemeinen sind die Verbindungsleitungen viel länger als eine Wellenlänge. Eine vollständige Leistungsübertragung findet über eine solche Verbindung nur dann statt, wenn sowohl Sender als auch Empfänger sorgfältig an den Wellenwiderstand der Verbindungsleitung angepaßt sind. Ist ein Element fehlangepaßt, so wird ein Teil der Leistung reflektiert

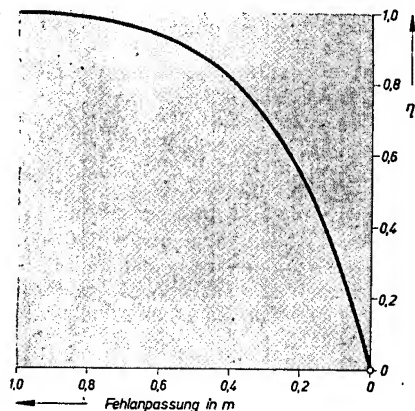


Bild 4: Leistungsübertragung bei Fehlpassung

und geht somit für die Übertragung verloren. Es bilden sich stehende Wellen aus, deren Verhältnis der Extremwerte,  $\eta = \frac{U_{\min}}{U_{\max}}$ , ein eindeutiges Maß für den Übertragungswirkungsgrad  $\eta$  ist.

Bild 4 zeigt  $\eta$  als Funktion der Welligkeit  $m$ . Um möglichst viele Fehlerquellen auszuschalten, die durch mangelhafte Anpassung hervorgerufen werden können,

strebt man durchweg ein  $m$  besser als 0,9 an.

Ein wichtiges Bauelement moderner radioastronomischer Empfangsgeräte ist der HF-Umschalter, der zur Modulation des Rauschsignals dient. An ihn werden sehr hohe Anforderungen gestellt. Er muß über viele Monate hinweg ohne Kontaktstörungen arbeiten. Die Kontaktzeiten für beide Empfangswege müssen untereinander außerordentlich genau gleich und über viele Monate hinweg konstant sein. Eine Schwankung der Kontaktzeiten zueinander würde sich unmittelbar auf das Meßergebnis auswirken. Außerdem muß der gesamte Schalter reflexionsfrei aufgebaut sein.

Um diesen aufgezählten Gesichtspunkten gerecht zu werden, wird ein kontaktloser, rotierender Umschalter verwendet (Bild 5).

Eine ungefähr 40 cm große Aluminiumscheibe wird von einem Elektromotor mit etwa 1470 U/min angetrieben. Die Scheibe enthält an ihrem Umfang ein halbkreisförmiges Segment S, das für jeweils eine halbe Umdrehung den beiden „Schalttöpfen“ A und B gegenübersteht. Im Bild 6 steht sie vor A. Die Kapazität des Segmentes S gegen die Leitung 1 ist so groß, daß 1 an der Stelle S praktisch kurzgeschlossen ist. Eine am Ende kurzgeschlossene  $\lambda/4$  lange Leitung hat den Eingangswiderstand  $\infty$ , so daß am Punkt a ungestört der Antennenwiderstand  $70 \Omega$  wirkt. Auch am Verzweigungspunkt c erscheint von links der Wider-

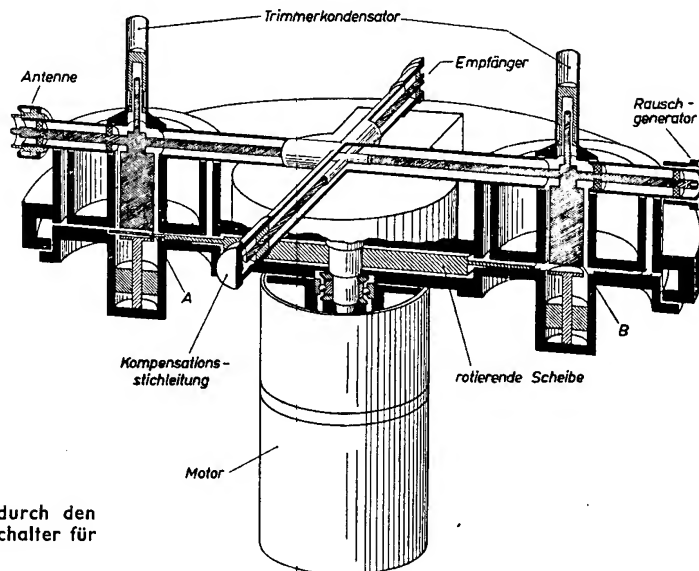


Bild 5: Schnitt durch den rotierenden Umschalter für  $\lambda = 20$  cm

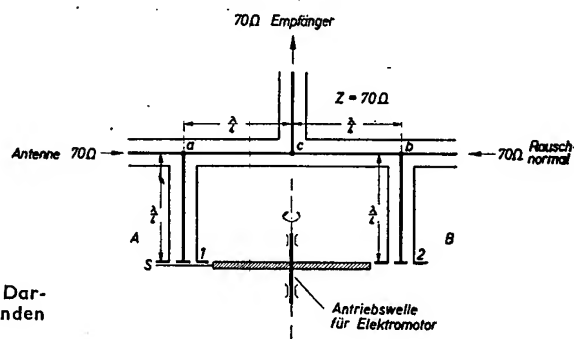


Bild 6: Schematische Darstellung des rotierenden Umschalters

stand  $70 \Omega$ , da im Anpassungsfall keinerlei Transformationen durch die Leitung stattfinden. Anders bei B. Hier ist die Leitung 2 offen. Eine am Ende offene  $\lambda/4$ -Leitung hat den Eingangswiderstand Null, d. h. sie wirkt am Verzweigungspunkt b als Kurzschluß. Ein Kurzschluß am Punkt b reflektiert jede von rechts einlaufende Welle vollständig. Es wird also in der gezeichneten Schalterstellung keinerlei Energie von der rechten Schalterseite durchgelassen.

Für die von der linken Schalterseite gelieferte Energie wirkt der Kurzschluß bei b nicht störend, weil er bei c als Widerstand  $\infty$  erscheint.

Wird die Scheibe um  $180^\circ$  gedreht, so ist der Leitungszug Rauschnormal—Empfänger verbunden, während die von der Antenne gelieferte Energie nicht wirksam wird. Rotiert die Scheibe mit 24 U/s, so sind 24 mal in der Sekunde jeweils für etwa  $1/50$  s Antenne oder Rauschnormal mit dem Empfänger reflexionsfrei verbunden.

Unvermeidliche Störungen im Leitungszug machen zusätzliche Korrekturglieder notwendig (vgl. Bild 5). Deshalb und wegen der verwendeten  $\lambda/4$ -Leitungen ist der Schalter frequenzabhängig. Durch zweckmäßigen Aufbau gelang es jedoch, ein genügend breites Frequenzband von etwa 19 bis 21 cm einwandfrei zu schalten. Die Anpassung  $m$  ist dabei im Durchlaßbereich besser als 0,9, die Sperrdämpfung größer als 20 dB.

Etwas anders arbeitet der Umschalter bei einer Wellenlänge von 3 cm. Hier pflanzt sich die Energie im Inneren des rechteckigen Hohlleiters fort. Läßt man eine Trolitulscheibe, die zur Hälfte mit einem geeigneten Widerstandsbelag bedampft ist, in den Hohlleiter eintauchen, so wirkt diese Apparatur als Sperrschalter (Bild 7). Taucht nur der unbedampfte Teil in den Querschnitt ein, so kann die von der Antenne kommende Energie reflexionsfrei den Schalter passieren und zum Empfänger gelangen. Taucht dagegen der Widerstandsbelag ein, so wird die von der

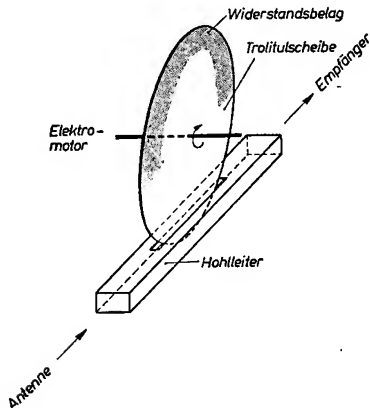


Bild 7: Modulationsschalter in Hohlrohrtechnik ( $\lambda = 3$  cm)

Antenne kommende Energie vollständig absorbiert. Vom Empfänger aus gesehen ist dann der Hohlleiter durch den Widerstandsbelag ebenfalls abgeschlossen. Deshalb wirkt dieser Abschluß zugleich als Rauschnormal, welcher eine Leistung von  $N = kT \Delta f$  an den Empfänger liefert (vgl. den Beitrag „Eigenschaften einiger Rauschquellen“ auf S. 375).

An den Ausgang des rotierenden Schalters ist bei allen Anlagen der Empfänger abgeschlossen. Beim 20- und beim 3-cm-Empfänger wird sofort mit einem Hilfsoszillator überlagert und dann die entstehende erste ZF von ungefähr 40 MHz verstärkt. Mit Ausnahme der Mischstufe, die hinsichtlich der bei 3 cm verwendeten Hohlleitertechnik äußerlich etwas anders aufgebaut ist als bei 20 cm, sind von hier ab alle verwendeten Empfänger gleich. Bei 3 cm wird als Mischstufe das sogenannte „magische T“ benutzt. Im dm-Gebiet verwendet man zur Mischung Siliziumdetektoren. Wesentlich für den Mischprozeß ist ein nichtlineares Schaltelement im Stromkreis. Als Arbeitspunkt für den Mischvorgang wählt man etwa den Punkt größter Krümmung. Den prinzipiellen Aufbau einer Mischstufe für 20 cm zeigt Bild 8. In einem geschlossenen zylindrischen Raum R ist ein am Ende offenes Lechersystem L

angebracht. Seine Länge  $l$  kann durch einen Verstellmechanismus verändert werden. Es ist für die Empfangsfrequenz in Resonanz, wenn  $l$  ungefähr  $\lambda/4$  ist. Hierbei schwingt das Lechersystem im Gegentakt. Durch den einen Leiter ist eine Koppelschleife K hindurchgeführt, die so eingestellt wird, daß im Resonanzfall der Eingangswiderstand  $70 \Omega$  beträgt. Die Koppelschleife erfüllt hier zwei Aufgaben: Symmetrierung des unsymmetrischen Eingangs und Anpassung an den Resonanzwiderstand des Lechersystems. Dadurch wird die gesamte vom Schalter kommende Energie in den Mischkreis eingekoppelt. Über eine kleine Kapazität C wird auch die Oszillatorfrequenz  $f_0$  eingekoppelt. Für sie schwingt das Lechersystem gleichphasig gegen den Zylindermantel. Durch die Detektoren  $D_1$  und  $D_2$  fließen Ströme sowohl von der Empfangsfrequenz als auch von der Oszillatorfrequenz. Wegen ihrer gekrümmten Kennlinie bildet sich u. a. auch die Differenzfrequenz, die an den Punkten a und b abgenommen und dem Zwischenfrequenzverstärker zugeführt werden kann.

Bis zur Diode wird eine ZF-Verstärkung von  $10^7$  bei einer Bandbreite von etwa 2 MHz benötigt. Um die Gefahr der Selbsterregung zu vermeiden, werden zwei Zwischenfrequenzen benutzt. Der erste ZF-Verstärker arbeitet auf einer Bandmittelfrequenz von etwa 40 MHz. Er enthält die E 88 CC in Kaskodeschaltung als Eingangsstufe; außerdem vier EF 80 in Sperrkreiskopplung. Den Ausgang bildet ein Katodenverstärker zur Impedanzwandlung. Die Resonanzfrequenzen aller verwendeten Schwingkreise sind gegenüber der Bandmittelfrequenz verstimmt. Dadurch wird die gewünschte rechteckige Durchlaßkurve erreicht. Die Verstärkung ist etwa  $3 \cdot 10^4$ , die Rauschzahl 1,6 bis 1,8 kT<sub>0</sub>.

Der zweite ZF-Verstärker ist räumlich vom ersten getrennt und nur über ein etwa 10 bis 15 m langes Kabel mit diesem verbunden. Er arbeitet auf einer Bandmittelfrequenz von 3 MHz bei 2 MHz Bandbreite. Eine Mischröhre ECH 81 bewirkt die Frequenzumsetzung von 40 auf 3 MHz, drei folgende Stufen die Verstärkung von etwa  $3 \cdot 10^3$ , und die letzte Stufe 6H6 dient zur Demodulation.

Wie schon erwähnt wurde, muß das entstehende niederfrequente Signal, eine mäanderförmige Wechselspannung (Bild 10c), noch weiter verstärkt werden. Dies geschieht in einem gewöhnlichen zweistufigen NF-Verstärker. Danach wird das Signal dem elektronisch gesteuerten Umschalter zugeleitet. Dieser besteht aus zwei Trioden, welche gitterseitig parallel und ausgangssseitig gegeneinander geschaltet sind (Bild 9, oben). Beide Steuergitter erhalten eine so hohe negative Vor-

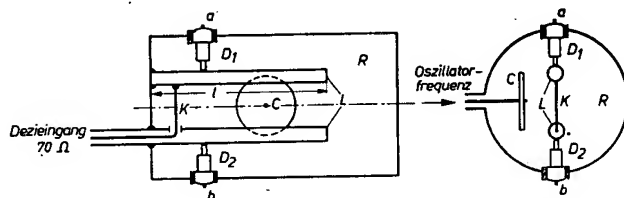


Bild 8: Mischstufe in Koaxialtechnik

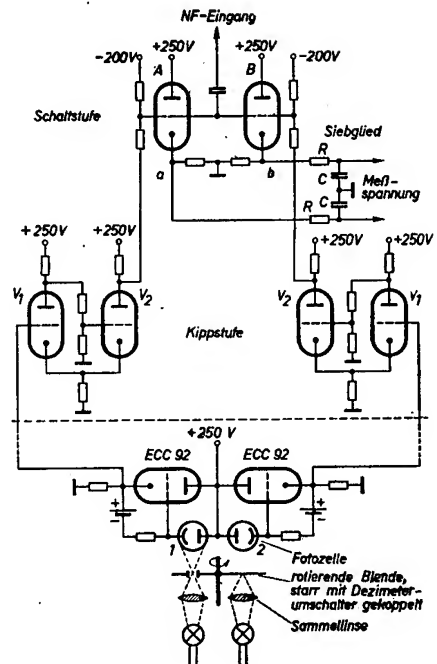


Bild 9: Schaltstufe mit Steuerung

spannung, daß sie im Ruhezustand gesperrt sind ( $\approx -200$  V). Mechanisch ist mit dem dm-Umschalter eine zweite Scheibe gekoppelt, die synchron zum HF-Teil zwei Fotozellen steuert. Jeweils die der Durchlaßrichtung des HF-Schalters entsprechende Fotozelle wird beleuchtet. Sie öffnet damit eine ECC 92, an deren Katode ein positiver Steuerimpuls entsteht, der einer monostabilen Kippstufe zugeführt wird. Durch den positiven Impuls wird die Röhre  $V_1$  geöffnet und  $V_2$  gesperrt. Dadurch steigt die Spannung an der Anode von  $V_2$  auf die volle Anodenspannung an, und die entsprechende Röhre der Schaltstufe wird geöffnet.

An den Punkten a, b der Schaltstufe wird so eine pulsierende Spannung abgenommen, deren Größe von der Amplitude der an den Gittern liegenden Mäanderspannung abhängt.

Das nachfolgende Siebglied erfüllt zwei Aufgaben: In erster Linie muß es die pulsierende Spannung an a, b so weit glätten, daß eine ruhige Anzeige des Meßwertes ermöglicht wird. Andererseits soll es die inneren Schwankungen der Apparatur genügend klein halten. Wie schon eingangs erwähnt wurde, ist die Größe dieser

Schwankungsspannung proportional  $\frac{1}{\sqrt{\tau}}$ .

Ein Erhöhen der Zeitkonstante  $\tau$  des Siebgliebes von 1 s auf 100 s verringert die Schwankung der Aufzeichnung auf  $1/10$  des ursprünglichen Wertes. Man kann also durch entsprechend große Wahl der Zeitkonstanten die Empfindlichkeit der Anlage erhöhen. Allerdings wird diese Empfindlichkeit durch größere Trägheit in der Anzeige erkauft.

Will man mit einer gegebenen Anlage schnelle Vorgänge messen, z. B. Strahlungsausbrüche auf der Sonne, so darf die Zeitkonstante für diese Messung höchstens einige Sekunden betragen. Demzu-



folge ist die Empfindlichkeit begrenzt. Empfängt man dagegen relativ konstante, aber sehr schwache Quellen, z. B. die thermische Strahlung des Mondes, so kann die Zeitkonstante u. U. auf einige Minuten erhöht werden; damit erhöht sich zugleich die Empfindlichkeit der Anlage. Um die Meßapparatur den jeweils herrschenden Verhältnissen anpassen zu können, sind die Kondensatoren umschaltbar angeordnet. Man kann so Zeitkonstanten von 0,5 bis 30 s zur Messung verwenden. Die Meßspannung hinter dem Siebglied wird über eine Trennstufe dem Schreiber zugeleitet und dort registriert. Mit einer solchen radioastronomischen Anlage kann man Antennentemperaturen von etwa  $3^\circ$  bei Zeitkonstanten von einigen Sekunden auf etwa  $\pm 50\%$  genau messen.

Der aufgezeichnete Meßwert ist proportional der Gesamtverstärkung der Anlage. Die Verstärkung ändert sich, wenn die Betriebsspannungen der Röhren schwanken. Um diesen Einfluß möglichst klein zu halten, werden sowohl Heizspan-

nung als auch alle Schirmgitter- und Anodenspannungen elektronisch stabilisiert. Dadurch gelingt es, die Verstärkungsschwankungen so klein zu halten, daß sie die Messungen nicht mehr wesentlich beeinflussen.

Zur Erläuterung soll jetzt an einem ganz konkreten Beispiel nochmals die Wirkungsweise der Apparatur besprochen werden.

Bild 10 zeigt schematisch die Oszillogramme an verschiedenen Punkten des Empfängers<sup>1)</sup>.

Von einer radioastronomischen Strahlungsquelle wird in der Antenne eine Rauschleistung erzeugt, die einer Antennentemperatur  $T_A$  entspricht. Als Vergleichsnorm wird ein Widerstand benutzt, der mit der Temperatur  $T_0$  rauscht. Durch den Dezimeterumschalter wird nun jeweils die Antennenleitung A im Bild 6 oder die Leitung vom Rauschnormal an den Empfänger eingeschaltet. Der Empfänger hat ein Eigenrauschen, das viel größer als das Widerstandsrauschen bei der Umgebungstemperatur  $T_0$  ist. Bei einem Rauschfaktor  $F = 20$  k $T_0$  ist die Rauschtemperatur des Empfängers  $T_R \approx F \cdot T_0 \approx 6000^\circ \text{K}$ .

Am Ausgang des Dezimeterempfängers erhält man nun Rauschleistungen, die bei Schalterstellung 1 proportional zu  $T_R + T_A$ , in Schalterstellung 2 proportional zu  $T_R + T_0$  sind. Das gesamte Rauschen am Ausgang des Empfängers ist rechteckförmig mit der Umschaltfrequenz moduliert (Bild 10 a). Der zeitliche Mittelwert dieser Spannung ist 0. Das demodulierte Signal hat die Form von Bild 10 b. Durch die Diode wurde eine Stromrichtung unterdrückt; außerdem verhindert ein vorhandener kleiner Ladekondensator das Absinken der Spannung auf den Wert 0. Es tritt ein Gleichstrommittelwert auf, der hauptsächlich durch das Eigenrauschen des Empfängers  $T_R$  bestimmt wird.

Auf die Diode folgt der NF-Verstärker in RC-Kopplung. Durch diesen wird jeder Gleichstromwert, welcher der Mäanderspannung überlagert ist, unterdrückt. Außerdem wird das Frequenzband auf einige kHz eingeeengt. Im Oszillogramm der Mäanderspannung macht sich diese Frequenzbandbescheidung dadurch bemerkbar, daß die scharfen Spitzen (im Bild 10 a noch vorhanden) wesentlich stärker abgerundet sind. (Bild 10 c). Es erscheint hieraus ganz deutlich die Mäanderspannung von der Umschaltfrequenz.

Die Amplitude dieser Spannung ist proportional zur Differenz zwischen Antennentemperatur und Rauschtemperatur des Vergleichswiderstandes  $T_A - T_0$ . Hier tritt der große Vorteil des Modulationsverfahrens deutlich in Erscheinung: Man erhält eine Meßspannung, deren Amplitude nahezu unabhängig vom Eigenrauschen des Empfängers ist.

Es wurde der Fall angenommen, daß die Antennentemperatur  $T_A$  größer als die Temperatur des Vergleichsnormals  $T_0$  ist. Ist  $T_A < T_0$ , so ist die Mäanderspannung hinter dem NF-Verstärker um  $180^\circ$  gegenüber Bild 10 c verschoben. Diese Spannung liegt am Gitter der Schaltstufe.

Durch den synchron mit dem Dezimeterumschalter angetriebenen Steuermechanismus wird dafür gesorgt, daß in jeder ersten Halbperiode der hier positive Impuls (Bild 10 c) nur auf Röhre A wirkt, da ja die Röhre B gesperrt ist. In jeder zweiten Halbperiode jedoch wirkt der negative Impuls nur auf Röhre B, während A gesperrt ist. Liefert der NF-Verstärker keine Mäanderspannung, so fließt nun bei geöffneten Röhren A bzw. B jeweils der gleiche Strom; im Zeitmittel über mehrere Umschaltungen liegen an den Punkten a und b gegen 0 auch die gleichen Spannungen (Bild 10 d, oben). Der Mittelwert wird in der Schaltung automatisch durch das Siebglied erzeugt. Die Differenzspannung  $\bar{U}_A - \bar{U}_B$  zwischen a und b ist somit Null ohne Mäanderspannung am Gitter, d. h. bei Gleichheit von Antennentemperatur und Temperatur des Vergleichswiderstandes  $T_A = T_0$ . Beim Anlegen der Mäanderspannung wird der Anodenstrom von A während der Öffnung größer als der Ruhestrom, von B kleiner als der Ruhestrom. Zwischen a und b entsteht eine Gleichspannung, deren positiver Pol bei a liegt. Sie ist proportional zur Differenz zwischen Antennentemperatur und Vergleichstemperatur  $T_A - T_0$ .

Um das stabile Arbeiten von derartig hochentwickelten Meßanlagen jederzeit überwachen zu können, werden in kurzen Zeitabständen Kontrollen vorgenommen. Neben der Beobachtung der Mäanderspannung im Oszillografen wird durch eine Normalrauschquelle am Eingang des Dezimeterumschalters ein konstantes Signal erzeugt und die Größe der dadurch hervorgerufenen Eichmarke auf dem Registrierstreifen beobachtet. Schwanken Empfindlichkeit oder Verstärkung oder setzt gar ein Bauelement der Anlage ganz aus, so kann man dies sofort an der Größe der Eichmarke erkennen. Die Normalrauschquelle wird an den Anschluß B des Dezimeterumschalters geschaltet (siehe Bild 6). Die Rauschtemperatur dieser Normalquelle kann von  $T_0$  auf  $T_N$  erhöht werden. Während der Registrierung ist die Temperatur der Normalquelle  $T_0$ , der Schreiber zeichnet als Meßwert also  $T_A - T_0$  auf. Zur Eichung wird die Rauschtemperatur auf  $T_N$  erhöht, bis der Schreiberausgang  $T_A - T_N = 0$  ist. Dann ist  $T_A = T_N$ . Auf diese Weise kann man durch Eichmarken, die im Abstand von zehn Minuten gegeben werden, kleinere Empfindlichkeitsschwankungen der Anlage eliminieren.

Als Normalrauschquellen werden gesättigte Dioden (im Dezimetergebiet) und Gasentladungsröhren (im Zentimetergebiet) verwendet.

In Rauschgeneratoren, die mit einer gesättigten Diode arbeiten, erzeugt der Schroteffekt den Rauschstrom. Dem Anodenstrom  $I$  der Diode ist ein Rauschstrom überlagert; läßt man diesen durch einen Widerstand  $R$  fließen, so kann man bei Anpassung die Rauschleistung  $N = 1/2 \cdot e \cdot I \cdot R \cdot \Delta f$  auf einen Verbraucher übertragen. Verwendet man für  $R$  einen 70- $\Omega$ -Widerstand, so errechnet

<sup>1)</sup> Die Größenverhältnisse sind gegenüber den wirklich auftretenden Werten stark übertrieben gezeichnet.

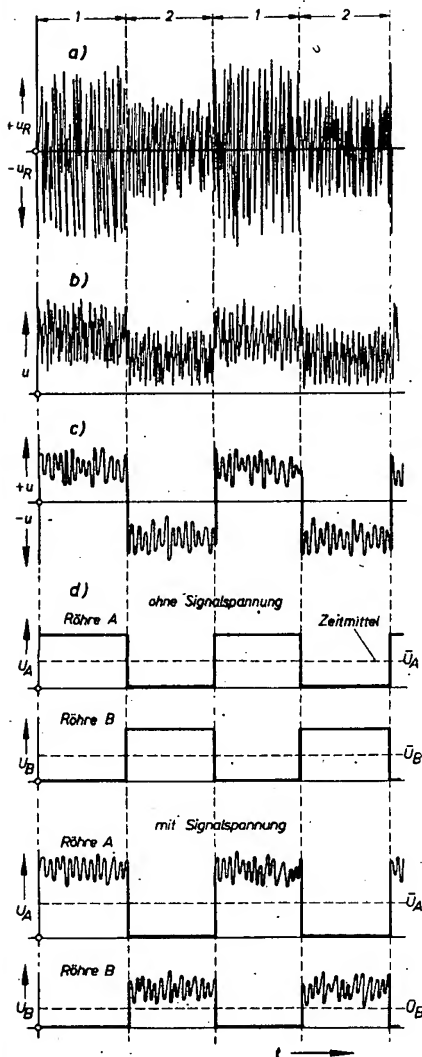


Bild 10: Schematisierte Oszillogramme zur Modulationsanlage.  
a) am ZF-Verstärker, b) nach ZF-Gleichrichtung, c) am Ausgang des NF-Verstärkers, d) am Ausgang der Schaltstufe

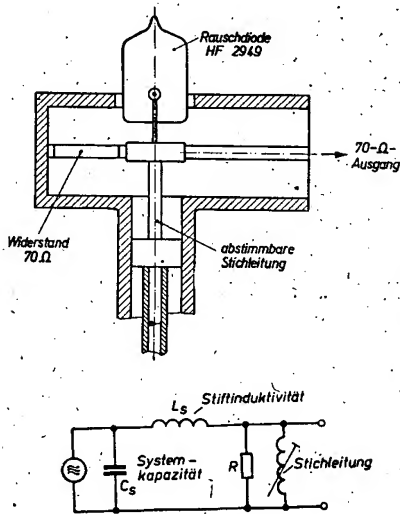


Bild 11: Diodenrauschgenerator im dm-Gebiet mit Ersatzschaltbild

sich die Temperatur des Rauschgenerators zu

$$T_N = T_0 + 406 \cdot I_{(mA)}$$

Auch wenn durch die Diode kein Anodenstrom fließt, ist immer noch das thermische Rauschen des Widerstandes vorhanden, d. h. der Rauschgenerator wirkt dann wie ein Abschlußwiderstand von 70 Ω. Bei 20 cm Wellenlänge wird der Aufbau eines Rauschgenerators mit gesättigter Diode schon sehr kritisch. Jeder Zentimeter der Leitungslänge besitzt Induktivität und Kapazität, die nicht mehr vernachlässigt werden können. Der Rauschgenerator wird in Koaxialtechnik aufgebaut, und es sind zusätzliche Abstimmglieder notwendig, um ihn für das Empfangsband brauchbar zu machen (Bild 11). Diese Blindwiderstände erhöhen durch Transformation die erzeugte Rauschleistung gegenüber dem nach der Rechnung erwarteten Wert etwa um das Dreifache. Außerdem wird durch die Laufzeit der Elektronen in der Diode der erzeugte Rauschstrom verkleinert. Dieser Einfluß ist bei 20 cm Wellenlänge noch klein; er beträgt nur einige Prozent vom Gesamtrauschen.

Bei noch kürzeren Wellen ist der Rauschgenerator nicht mehr anwendbar; man benutzt Gasentladungsröhren als Rauschquellen.

In einem Leiter werden durch thermische Bewegung der Leitungselektronen elektrische Schwankungsspannungen erzeugt, deren Intensität durch die Nyquist'sche Rauschformel beschrieben wird. In einer Gasentladung tritt ebenfalls neben einer

geordneten Driftbewegung der Ladungsträger eine thermische Bewegung auf. Dadurch entsteht eine Rauschspannung. Als Rauschtemperatur hat man nicht die thermodynamische Temperatur der Gasentladung einzusetzen, sondern eine im allgemeinen viel höhere Elektronentemperatur  $T_{el}$ .

Die Elektronentemperatur hängt von der Gasart, vom Gasdruck, von den Abmessungen des Entladungsgefäßes sowie auch vom Entla-

dungsstrom ab. Für eine neongefüllte Entladungsröhre von etwa 25 Torr Gasdruck, etwa 0,8 cm Rohrdurchmesser und etwa 50 mA Entladungsstrom beträgt die Elektronentemperatur 21 000° K.

Besonders bei den cm-Wellen hat sich der Rauschgenerator mit Gasentladungsröhre durchgesetzt. Man führt dort einfach ein Gasentladungsrohr schräg durch einen Hohlleiter (Bild 12) und hat so bereits die Rauschleistung in das Hohlrohr eingekoppelt. Nachteilig ist bei diesem Rauschgenerator, daß seine Rauschleistung nicht regelbar und außerdem in manchen Fällen viel höher als die zu messende Antennentemperatur ist. Man hilft sich dann durch ein Dämpfungsglied, welches vor die Entladungsröhre geschaltet wird.

Bei den ausgeführten Anlagen ist ein Teil des Empfängers, nämlich der dm-Umschalter, der Rauschgenerator, die Mischstufe, der erste ZF-Verstärker und die Fotozellen samt dem dazugehörigen Vorverstärker unmittelbar am Spiegel angebracht (Bild 13). Der zweite ZF-Verstärker, die Schaltstufe, der Gleichstromverstärker, der Registrierschreiber, die Kippstufen, der Dezimetroszillator, sämtliche Überwachungsinstrumente sowie die gesamte Stromversorgung sind in einem gesonderten Normgestell untergebracht. Dieses steht im Meßraum und ist über Vielfachkabel mit dem in der Antenne angebrachten Empfängerteil verbunden (Bild 14).

#### Antennen

Die Hauptaufgabe einer jeden Antenne ist es, Strahlungsenergie in Leitungsenergie umzusetzen oder umgekehrt, die vom Sender erhaltene Leistung in den Raum auszustrahlen. In der Radioastronomie kommen zu diesen Aufgaben noch zwei weitere hinzu:

1. Die radioastronomischen Objekte sind relativ zur Erde im Raume beweglich. Es muß also die Antenne so mitgeführt werden, daß das beobachtete Objekt ständig im Richtdiagramm der Antenne ist.
2. Die Richtung der einfallenden Strahlungsquelle soll möglichst genau bestimmt werden.

Das erste Problem ist ein mechanisches. Der Einfachheit halber nehmen wir eine Beobachtung eines radioastronomischen Objektes vom geografischen Nordpol aus an. Der Antennenmast würde dann in der gewohnten Weise senkrecht aufgestellt werden können, nur müßte er um seine eigene Achse drehbar sein und die Antenne schwenkbar an diesen Mast befestigt werden. Mit einer derartigen Vorrichtung ist es dann möglich, jeden beliebigen Punkt des Himmels anzuvisieren, und wenn man den Mast mit einer Geschwindigkeit von etwa einer Umdrehung pro 24 Stunden entgegengesetzt zur Erdrotation dreht, kann man dieses Objekt immer im Richtdiagramm behalten. Es ist also bei dieser Mittführung für ein einmal eingestelltes Objekt nur eine einzige gleichmäßige Veränderung der Richtung in einer Dimension nötig. Dieses Nachführungsverfahren ist nicht nur auf dem Pol P möglich, sondern kann auf

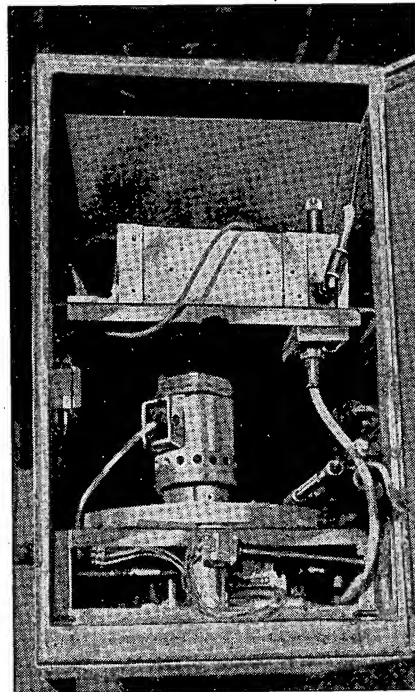


Bild 13: Die ersten Stufen des Empfängers an der Antenne montiert; oben: ZF-Verstärker mit Mischstufe, unten: dm-Umschalter und Rauschgenerator

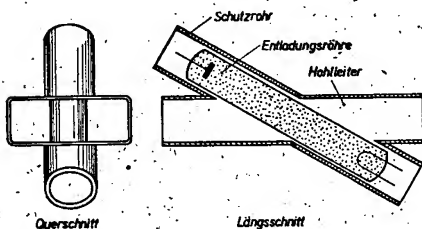


Bild 12: Rauschgenerator mit Gasentladungsröhre in Hohlleitertechnik

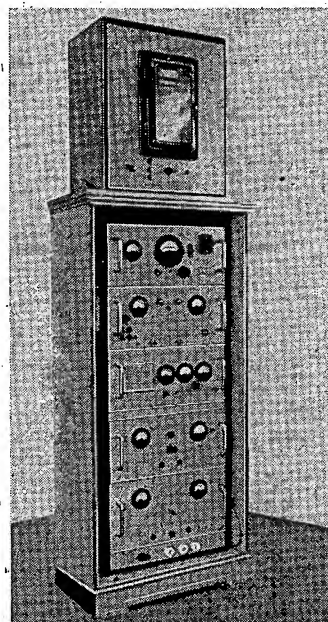


Bild 14: Empfängergestell der radioastronomischen Empfangsanlage; oben: Registrierschreiber, Mitte: 2. ZF- und alle folgenden Stufen, unten: Stromversorgung

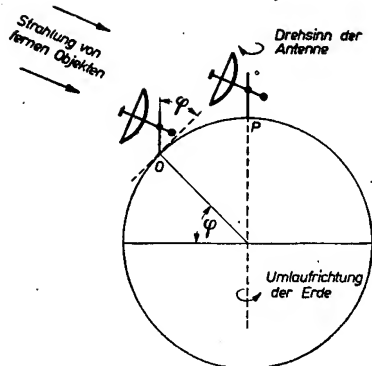


Bild 15: Wirkungsweise der parallaktischen Montierung. Aufstellung einer radioastronomischen Antenne am Pol P und bei geografischer Breite  $\varphi$  (O)

jedem Punkt der Erde durchgeführt werden. Verschiebt man das Antennen-gestell parallel an irgendeinen beliebigen Punkt O der Erdoberfläche (Bild 15), so bleibt die Funktion vollkommen erhalten. Der Mast steht dann zwar nicht mehr senkrecht auf der Erdoberfläche, sondern ist in der Nord-Süd-Ebene um den Winkel der geografischen Breite des Aufstellungs-ortes geneigt. Man bezeichnet eine der-artige Montierung als parallaktisch. Das zweite Problem ist die Lokalisierung der empfangenen Strahlungsquelle. Um nun die Richtung genau bestimmen zu können, aus der die untersuchte Strahlung kommt, muß eine radioastronomische Antenne ein möglichst scharf gebündeltes Richtdiagramm haben. Die Halbwertsbreite des Richtdiagramms einer Antenne ist durch

$$R = 60 \frac{\lambda}{d}$$

gegeben.

$R$  = Halbwertsbreite der Antenne in Winkelgraden,  
 $\lambda$  = Wellenlänge,  
 $d$  = Ausdehnung der Antenne in der entsprechenden Ebene.

Bei einem Parabolspiegel von 8 m Durchmesser beträgt für eine Wellenlänge von 20 cm die Halbwertsbreite  $\approx 1,5^\circ$ . Aus der Gleichung ist auch zu erkennen, daß ein Erhöhen der Richtschärfe bei gegebener Wellenlänge nur durch größere Ausdehnung der Antenne möglich ist. Aus diesem Grunde erreichen die radioastronomischen Antennen teilweise Dimensionen, die weit über den bisher üblichen liegen. Auch noch aus einem anderen Grunde sind sehr große Antennenflächen notwendig. Die Gleichung für die Strahlungsmessung lautet:

$$T_A = T_S \frac{G_0 \Omega^*}{4\pi}$$

Hier ist:

$T_A$  = Antennentemperatur,  
 $T_S$  = Strahlungstemperatur des Meßobjektes,  
 $G_0$  = Antennengewinn bezogen auf den isotropen Strahler,  
 $\Omega^*$  = Raumwinkel des Meßobjektes.

Um eine möglichst genaue Messung durchzuführen, ist es notwendig, die Antennentemperatur so groß wie irgend möglich werden zu lassen.  $T_S$  und  $\Omega^*$  sind durch die ferne Strahlungsquelle gegeben. Da der Raumwinkel der Strahlungsquelle gegenüber dem Richtdiagramm in den meisten Fällen sehr klein ist, ist es für eine Messung günstig, den Antennengewinn möglichst groß zu wählen. Also sind auch aus diesem Grunde große Antennenflächen erwünscht.

Als Antennenform können grundsätzlich alle bisher in der Funktechnik benutzten Antennenarten verwendet werden. In den Anfängen der Radioastronomie wurde auch mit Yagi-Antennen, Schlitzstrahlern, Hornstrahlern und anderen Formen experimentiert. Für den Dezimeterbereich und noch kürzere Wellenlängen hat sich die Parabolantenne durchgesetzt. Dabei wird im Ausland sehr viel die Parabolspiegelantenne des im letzten Weltkrieg entwickelten Funkmeßgerätes „Würzburg-Riese“ benutzt. Der Parabolspiegel hat gegenüber den anderen Antennen den Vorteil, daß er verhältnismäßig einfach auf eine andere Empfangsfrequenz umzustellen ist. Es braucht lediglich die Erregerantenne ausgetauscht zu werden. Bild 16 zeigt ein Beispiel für eine radioastronomische Antenne, die parallaktisch montiert wurde. Die Polachse, deren Antrieb über ein Schneckenrad und Getriebe durch einen urgesteuerten Motor erfolgt, ist oberhalb und unterhalb der Antenne drehbar gelagert. Der Motor wird durch einen Impuls von einer Pendeluhr auf konstante Drehzahl geregelt. Das Getriebe mit dem Schneckenantrieb untersetzt die Motordrehung auf eine Umdrehung pro 24 Stunden. Schwenkbar um die Polachse ist die Spiegelhalterung gelagert. Diese läßt sich durch eine mechanische Vorrichtung von Hand verstellen. Der Spiegel ist ein Rotationsparaboloid. Die Kurvenform ist für optimale Ausleuchtung bei einem Dipol mit Reflektor als Erregerantenne dimensioniert, die Spiegelfläche mit engmaschigem Drahtgewebe ausgekleidet. Dieses

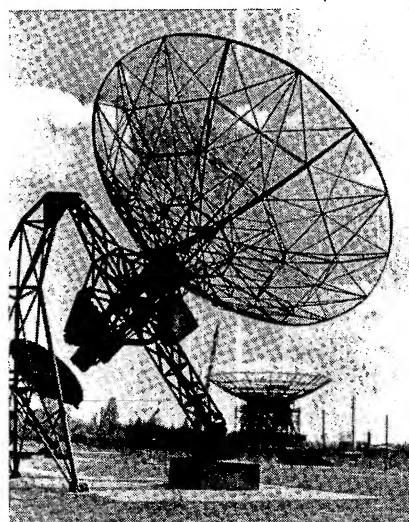


Bild 16: 8-m-Parabolspiegel für  $\lambda = 20$  cm in parallaktischer Montierung

Drahtgewebe wirkt praktisch als total reflektierende Fläche, solange die Maschenweite kleiner als  $\frac{1}{10}$  der Wellenlänge ist. Im Brennpunkt befindet sich die eigentliche Antenne. Hier ist ein  $\lambda/2$ -Dipol mit Reflektor gewählt worden, der zum Schutz gegen Witterungseinflüsse in eine Vinidurhaube eingeschlossen ist. Die Antennenenergie wird über ein



Bild 17: 2,5-m-Parabolspiegel für  $\lambda = 3$  cm

Koaxialkabel in das an der Polachse unterhalb des Spiegels befindliche Gehäuse zum Schalter geleitet. Hier befinden sich auch die ersten Stufen des Empfängers. Das Aufstellen der ersten Empfängerstufen an diesem Ort ist notwendig, da sonst die hohen Kabelverluste die schwache Energie noch wesentlich vermindern würden. Um bei klarem Wetter die Antenne optisch auf die Meßobjekte einstellen zu können, ist ein Fernrohr starr mit dem Parabolspiegel verbunden. Das Einrichten der Antenne erfolgt je nach Witterungslage optisch oder mit Hilfe des Empfängers.

Bild 17 zeigt einen kleineren Spiegel von 2,5 m Durchmesser. An dieser Antenne arbeitet ein Empfänger auf einer Wellenlänge von 3 cm. Der Vorteil dieser kleineren Anlage liegt darin, daß sie sich verhältnismäßig leicht in transportable Einzelteile zerlegen läßt und daher auf Expeditionen mitgenommen werden kann. Der Aufbau ist prinzipiell der gleiche wie bei der vorher beschriebenen Antenne. Nur ist hier als Erregerantenne ein Hornstrahler benutzt worden, da diese Antennenform für die Hohlleitertechnik die zweckmäßigste ist. Alle diese Antennen werden hauptsächlich zur Registrierung der Sonne benutzt. Bild 18 zeigt ein Gesamtbild der radioastronomischen Sonnenbeobachtungsstation des Heinrich-Hertz-Institutes in Berlin-Adlershof.

<sup>1)</sup> Siehe Beitrag „Eigenschaften einiger Rauschquellen“ auf S. 375.



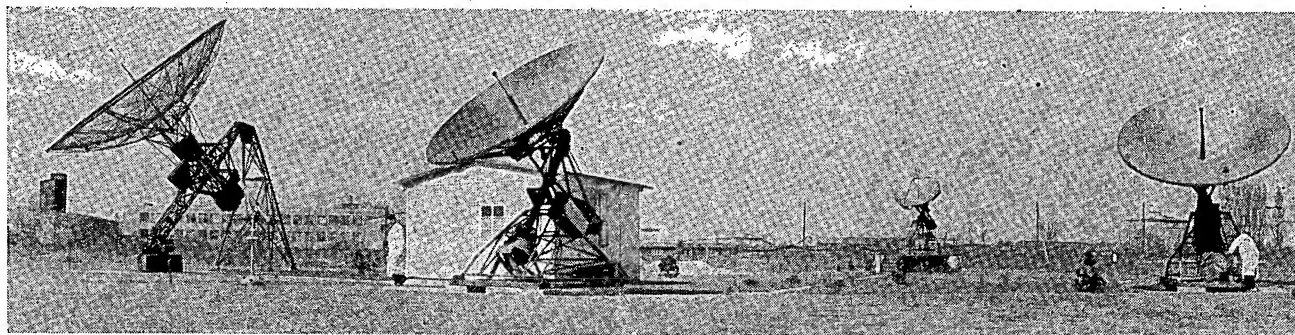
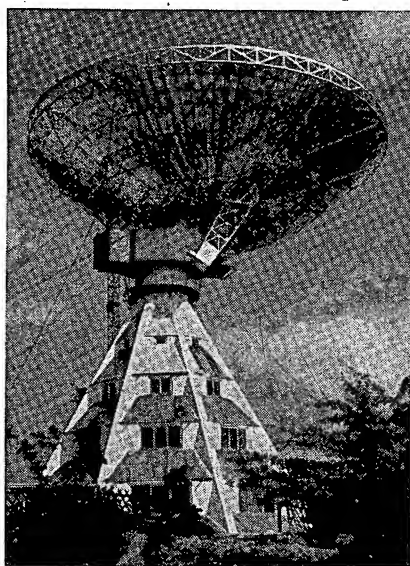


Bild 18: Gesamtbild der Station zur Sonnenmessung. Im Vordergrund zwei 4-m-Parabolspiegel für  $\lambda = 10 \text{ cm}$  und  $20 \text{ cm}$

Über den 25-m-Spiegel der Radiosternwarte Bonn (Bild 19) ist bereits in RADIO UND FERNSEHEN Nr. 22 (1956) berichtet worden. Eine andere Lösung, um einen großen Spiegel möglichst wirtschaftlich herzustellen, zeigt die Aufnahme eines auf der Krim (UdSSR) aufgestellten Spiegels (Bild 20). Hier wurde eine Grube in der gewünschten Parabelform ausgeschachtet - und mit Drahtnetz ausgelegt. Um das Richtdiagramm dennoch beweglich zu erhalten, ist die Erregerantenne schwenkbar ausgeführt worden. Dies ist aber nur innerhalb geringer Grenzen sinnvoll. Der Nachteil einer derartigen Antenne ist, daß hier nur ein Teil des sichtbaren Himmelsgewölbes beobachtet werden kann.

Es ist aber auch mit mehreren kleinen Antennen möglich, durch das Interferometer-Prinzip eine hohe Auflösung zu erhalten. Die Wirkungsweise eines derartigen Antennensystems ist folgende: Im Bild 21 sind zwei gleichartige Antennen A und B an einen gemeinsamen Empfänger angeschlossen. Die elektrische Länge der Verbindungsleitungen von der Antenne zum Empfänger muß in beiden Fällen gleich lang sein. Tritt nun eine ebene Wellenfront, deren Ausbreitungsrichtung senkrecht auf der Verbindungslinie a steht, an die Antennen heran, so

Bild 19: 25-m-Spiegel der Radiosternwarte Bonn



wird sich am Empfänger eine doppelt so hohe Leistung zeigen, als wenn nur eine Antenne angeschlossen ist. Ist die Ausbreitungsrichtung nun aber um den Winkel  $\alpha$  zur bisherigen Richtung geneigt, so haben die von den beiden Antennen am Empfänger ankommenden Wellen auf Grund des Gangunterschiedes einen Phasenwinkel  $\varphi$ . Die Leistung am Empfänger ist je nach Größe von  $\varphi$  das null- bis

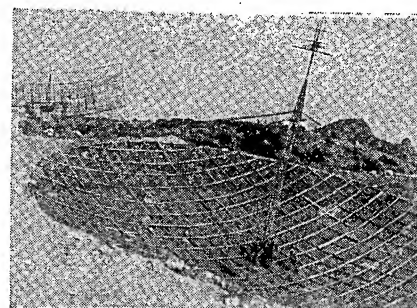


Bild 20: Erdspeigel einer radioastronomischen Station auf der Krim (UdSSR)

zweifache der Leistung einer Antenne. Da aber die Phase bei gegebenem Antennenabstand nur von der Größe des Winkels  $\alpha$  abhängig ist, ergibt sich ein sehr scharfes Vielzipfelrichtdiagramm. Bild 22 zeigt die Leistungskurve einer derartigen Antenne.

Dieses Antennensystem hat zwar einen sehr scharf bündelnden Hauptzipfel, aber auch sehr viele gleichstarke Nebenzipfel in benachbarter Richtung. Dadurch wird bei Messungen die Entscheidung, von welchem Zipfel die Strahlung empfangen wird, sehr schwierig. Es ist nun möglich, die benachbarten Nebenzipfel vernachlässigbar klein werden zu lassen, wenn man an Stelle von zwei Antennen sehr viele Antennen benutzt. Ein praktisches Beispiel ist das in Australien entwickelte 32-Spiegel-Antenneninterferometer (Bild 23). Bild 24 zeigt das Schaltschema und das Richtdiagramm einer derartigen Interferometerantenne. Die Richtcharakteristik eines derartigen Interferometers ergibt sich aus:

$$P(\alpha) = \frac{\sin^2 \left( N \pi \frac{d}{\lambda} \sin \alpha \right)}{N \cdot \sin^2 \left( \pi \frac{d}{\lambda} \sin \alpha \right)}$$

$P(\alpha)$  = die empfangene Leistung von einer Punktquelle bezogen auf die Leistung eines Elements,

$N$  = Anzahl der Elemente im System,

$d$  = Abstand zwischen den einzelnen Elementen,

$\lambda$  = Wellenlänge.

Da das Interferometer eine Spannweite von ungefähr 220 m hat, ergibt sich für die benutzte Wellenlänge von 20 cm eine Halbwertsbreite von 3 Bogenminuten. Im Bild 24 ist ebenfalls der Sonnendurchmesser von etwa 30 Bogenminuten eingezeichnet. Man kann mit einem derartigen System die Sonne in einzelne Streifen von etwa  $1/10$  Sonnendurchmesser auflösen und damit Aufschlüsse über die Orte von Strahlungsquellen auf der Sonne geben. Der Nachteil einer derartigen Antenne gegenüber einem Parabolspiegel von der Ausdehnung der gesamten Spannweite liegt im verhältnismäßig geringen Antennengewinn der Anlage. Das System hat außer den kleinen Antennenflächen der Einzelstrahler auch noch erhebliche Verluste in den langen

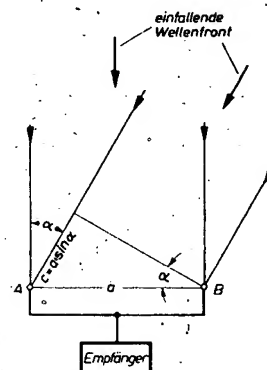


Bild 21: Wirkungsweise eines Zweiantenneninterferometers

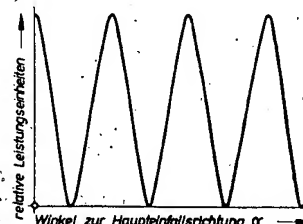


Bild 22: Richtdiagramm der Leistung eines Zweiantenneninterferometers



Leitungen, die bei dm-Wellen keinesfalls zu vernachlässigen sind. Zum Schluß sei noch ein 36-m-Parabolspiegel erwähnt, der z. Z. im Heinrich-Hertz-Institut aufgebaut wird (siehe Titelbild). Diese Antenne, eine Ganzstahlkonstruktion, wird hauptsächlich zur Durchmusterung des Himmels benutzt werden. Der Spiegel ist in der Ost-West-Achse drehbar auf zwei Türmen aufgehängt. Da die Antenne durch die Eigenbewegung der Erde den Himmel in der Stundenrichtung abstastet, ist es möglich, im Laufe der Zeit jeden einzelnen Punkt des sichtbaren Himmels durch diese Änderung in der einen Dimension zu untersuchen. Der Parabolspiegel ist auf einem Stahlträgerring von 12 m Durchmesser aufgebaut. An diesem Ring befinden sich die Lager. Die Spiegelfläche wird bis zu einem Durchmesser von 15 m mit Blech ausgekleidet, so daß man sie hier noch bis ins untere cm-Gebiet benutzen kann. Der Rest der Spiegelfläche wird mit sehr engem Maschendraht ausgelegt, damit die volle Spiegelgröße für das untere dm-Gebiet brauchbar ist. Der ganze Spiegel, einschließlich Ausgleichgewichte, hat ein Gewicht von etwa 100 t. Als Antennenträger wird im Scheitelpunkt des Spiegels ein Mast von 13 m Höhe aufgebaut. Dieser Mast ist bestmöglich, um einen raschen Antennenwechsel vornehmen zu können.

Am Fuße des Antennenträgers befindet sich eine kleine Kabine zur Aufnahme der Eingangsstufen des Empfängers. Jeder

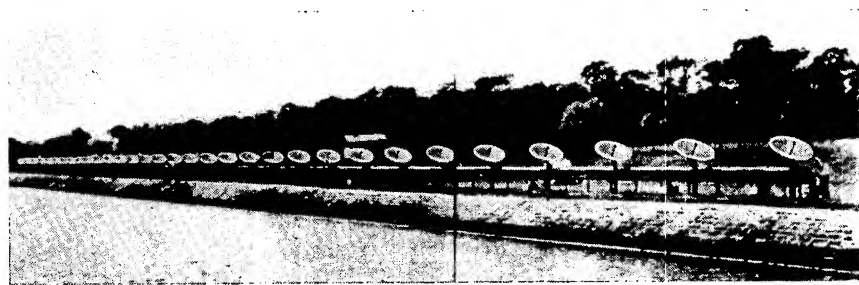


Bild 23: Interferometer mit 32 Parabolspiegeln (Sydney, Australien)

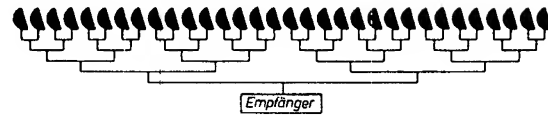
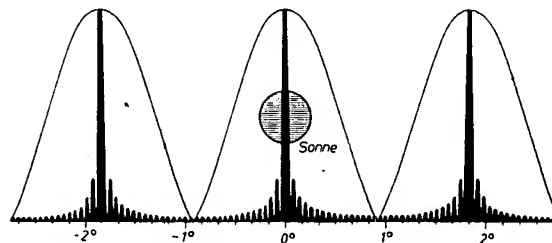


Bild 24: Schaltschema und Richtdiagramm der Leistung des Interferometers nach Bild 23



der beiden Tragtürme ruht auf vier Betonfundamenten. Auf der Westseite der Anlage wird ein kleines Gebäude errichtet, in dem die Hauptteile des Empfängers untergebracht werden.

Die Antenne ist zur Zeit im Rohbau fertiggestellt; die Empfangsanlagen sind in der Erprobung, so daß in Kürze der Radioastronomie ein neues großes Meßgerät zur Verfügung steht.

HELMUT PRINZLER

## Eigenschaften einiger Rauschquellen

### Erläuterungen zur Radioastronomie

Der Empfang radioastronomischer Strahlungen unterscheidet sich in einigen wesentlichen Punkten vom Empfang üblicher hochfrequenter Signale. Der auffallendste ist die kontinuierliche Verteilung der Strahlungsenergie auf ein ganz breites Frequenzband mit allen daraus resultierenden Besonderheiten. Zu diesen rein sachlichen Unterschieden kommen noch Abweichungen in der Darstellung physikalischer Größen, z. B. die Einführung des Temperaturbegriffes an Stelle der Energie.

Diese veränderte Darstellungsweise ist nicht willkürlich, sondern ergibt sich zwangsläufig durch die enge Bindung der Radioastronomie zur Astrophysik und damit auch zur Optik.

Im folgenden Beitrag wird der Versuch unternommen, zusammenfassend einige Gesetze darzustellen, die zur Messung radioastronomischer Strahlungsquellen benötigt werden.

#### Die thermische Ausstrahlung des Schwarzen Körpers und der Empfang thermischer Strahlung im dm-Gebiet

Unsere wichtigste künstliche Lichtquelle ist die Glühlampe. Das ausgestrahlte Licht wird durch eine dünne Drahtspirale erzeugt, die vom elektrischen

Strom durchflossen wird und sich dabei bis zur Weißglut erhitzt. Die Glühlampe ist ein thermischer Strahler im Gegensatz zu den Leuchtstoffröhren, bei denen das Licht nicht durch hohes Erhitzen eines Metallfadens erzeugt wird, sondern durch eine Gasentladung. Man spricht dann gelegentlich wohl auch vom „kalten Licht“.

Um die Erscheinung der thermischen Strahlung besser beschreiben zu können, gehen wir davon aus, daß sowohl Lichtstrahlung als auch Wärmestrahlung elektromagnetische Wellenvorgänge sind und im gesamten elektromagnetischen Spektrum nur kleine Ausschnitte einnehmen (Bild 1). Nur der kleine Bereich von etwa 0,4 bis 0,8  $\mu$  wird vom Auge als sichtbares Licht wahrgenommen; dabei werden die kürzeren Wellen als „blau“ und die längeren als „rot“ empfunden. Nach noch längeren Wellen zu schließt sich dann die Infrarotstrahlung an, die bis etwa 0,1 mm Wellenlänge reicht.

Für diese Wellenlängen ist die Absorption der Hautoberfläche besonders groß, Ultrarotstrahlung wird unter der Hautoberfläche in Wärmestrahlung umgesetzt. Für noch längere Wellen hört dann die Emp-

<sup>1)</sup> 1  $\mu$  =  $10^{-3}$  mm.

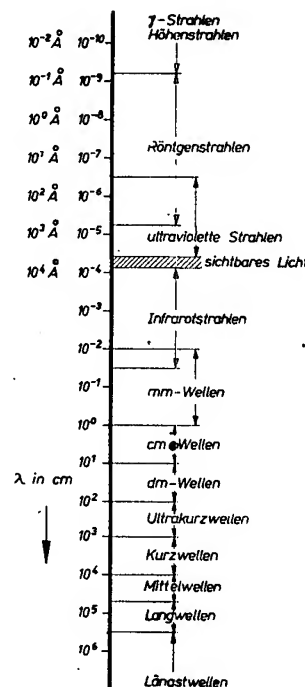


Bild 1: Das elektromagnetische Spektrum

findung unserer Sinnesorgane gänzlich auf.

Untersucht man mit dazu geeigneten Meßgeräten (Spektrometern) das Spektrum des Glühlampenlichtes, also die Abhängigkeit der Strahlungsenergie von der Wellenlänge, so beobachtet man Energie in einem ganz breiten Frequenzband (Bild 2). Nur der kleine im Bild schraffierte Bereich der Spektralkurve wird vom Auge als Lichteindruck gewertet. Führt man die Untersuchung bei etwas geringerer Fadentemperatur durch, so verschiebt sich das Maximum der Strahlung in Richtung längerer Wellen. Ein sehr kleiner Anteil der Strahlung fällt auch in das dm-Band und kann mit dazu geeigneten Empfängern gemessen werden.

Die theoretische Deutung der thermischen Strahlung gelang Max Planck im Jahre 1900 durch Aufstellen seiner berühmten Strahlungsformel. Zu ihrer Ableitung mußte eine der klassischen Physik völlig wesensfremde Annahme gemacht werden: die Energiequantenhypothese.

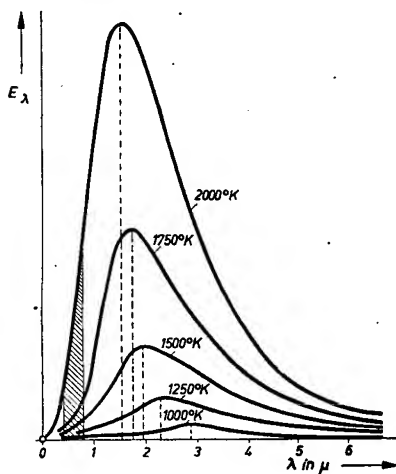


Bild 2: Strahlung des Schwarzen Körpers

Die Energieabstrahlung eines Atoms erfolgt nicht kontinuierlich, sondern in Form kleinster „Energieportionen“  $h \cdot f$ . Diese sind jedoch so klein (bei 10000 MHz = 3 cm Wellenlänge ist  $h \cdot f = 6,6 \cdot 10^{-24}$  Ws!), daß die dadurch hervorgerufene Diskontinuität im makroskopischen Bereich vernachlässigt werden kann. Nur dann, wenn Ausstrahlung oder Absorption kleinster Energien bei hohen Frequenzen betrachtet wird, muß die

Existenz von Energiequanten beachtet werden. Das ist im allgemeinen bei atomaren Prozessen der Fall.

Die Plancksche Strahlungsformel ist für den Schwarzen Körper abgeleitet. Die technische Ausführung eines Schwarzen Körpers zeigt Bild 3.

Ein Graphithohlzylinder Z wird durch eine um ihn gelegte Heizwendel W elektrisch aufgeheizt. Zum besseren Wärmeausgleich stecken Graphitzylinder und Heizwendel in einem Metallklotz K und der wiederum in einer wärmedämmenden Hülle M. Durch eine kleine Öffnung O kann die Strahlung austreten. Durch O sieht man auf die in der Mitte des Zylinders sitzende Graphitplatte P. Die Temperatur in dem davorliegenden kleinen Hohlraum H wird durch das Thermoelement Th gemessen. Die Blenden B verhindern, daß Strahlung von den Zylinderwandflächen direkt nach außen gelangt. Im Endzustand bildet sich dann nach Aufheizen des gesamten Hohlraumes auf die Temperatur T elektromagnetische Strahlung aus. Diese kann als ein Gemisch einzelner, gedämpfter Wellenzüge verschiedener Amplitude, Frequenz, Phase und Polarisationsrichtung<sup>1)</sup> aufgefaßt werden. Die Plancksche Formel beschreibt die spektrale Verteilung E der Leistung, die ein Schwarzer Körper von 1 cm<sup>2</sup> Oberfläche in den Raumwinkel  $\Omega$ <sup>2)</sup> ausstrahlt, wenn aus dem Spektrum ein Band von 1 Hz Breite herausgeschnitten wird.

$$E = \frac{2 h \cdot f^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{h \cdot f / kT} - 1} \quad (1)$$

E in  $\frac{W}{Hz \cdot cm^2}$  = ausgestrahlte Leistung

h =  $6,62 \cdot 10^{-34}$  Ws<sup>2</sup>, Plancksches Wirkungsquantum

f = Frequenz

c =  $3 \cdot 10^{10}$  cms<sup>-1</sup> Lichtgeschwindigkeit im Vakuum

k =  $1,38 \cdot 10^{-23}$  Ws · Grad<sup>-1</sup>, Boltzmannsche Konstante

T = absolute Temperatur<sup>3)</sup>

Die Bezeichnung Schwarzer Körper ist aus der Optik entlehnt und deutet die einzige physikalisch wichtige Bedingung an, die dieser erfüllen muß: Ein idealer Schwarzer Körper muß im gesamten Frequenzgebiet auf ihn fallende elektromagnetische Energie restlos absorbieren. Für diesen Fall ist die von einem solchen Körper ausgestrahlte Energie völlig unab-

hängig vom verwendeten Material. Die im Bild 3 gezeigte Konstruktion hat den einzigen Zweck, diese Bedingungen möglichst gut zu erfüllen.

Wirkliche thermische Strahler strahlen nur näherungsweise schwarz, die Abweichungen vom theoretischen Wert sind um so größer, je geringer das Absorptionsvermögen des Körpers ist. Dieses ist z. B. für einen glühenden Wolframfaden viel größer als etwa für ein glühendes Stück Porzellan.

Für die Zwecke der Radioastronomie kann man die Gleichung (1) noch vereinfachen. Bei einer Wellenlänge von 20 cm ist der Exponent  $\frac{h \cdot f}{k \cdot T}$  in (1) schon bei T etwa 100 Grad von der Größenordnung  $10^{-3}$ , so daß man mit der Näherung  $e^x \approx 1 + x$  ( $x \ll 1$ ) aus (1)

$$E = \frac{2 f^2}{c^2} \cdot kT \quad (2)$$

erhält.

Diese Beziehung war schon vor der Ableitung der Planckschen Formel in der klassischen Elektrodynamik als Raleigh-Jeansche Strahlungsformel bekannt.

Mit (2) kann die Leistung berechnet werden, die von einem entfernten thermischen Strahler der Temperatur T<sub>s</sub> in einem Empfänger erzeugt wird. Wir benutzen dabei das folgende einfache Modell

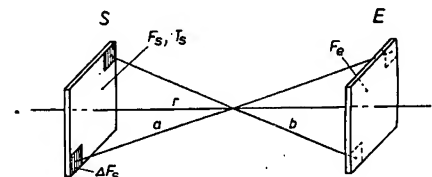


Bild 4: Zur Berechnung der übertragenen thermischen Strahlung

(Bild 4). S ist der thermische Sender, er soll schwarz strahlen. Dem Empfänger wendet er die Oberfläche F<sub>e</sub> zu. F<sub>e</sub> ist die Absorptionsfläche des Empfängers<sup>4)</sup>. Sowohl F<sub>s</sub> als auch F<sub>e</sub> stehen senkrecht auf der Verbindungslinie r. Weiterhin soll der Abstand r so groß sein, daß auch die von den äußeren Randflächen des Senders zum Empfänger gezogenen Verbindungslinien a, b im Bild 4 als senkrecht auf F<sub>e</sub> stehend betrachtet werden können. In diesem Fall erscheint die Absorptionsfläche F<sub>e</sub> des Empfängers von jedem Flächenelement  $\Delta F_s$  des Senders unter dem gleichen Raumwinkel  $\Omega = \frac{F_e}{r^2}$ . Nach

(2) wird von diesem Flächenelement  $\Delta F_s$  in den Raumwinkel  $\Omega$  die Leistung

<sup>1)</sup> Polarisationsrichtung ist die Richtung parallel zur elektrischen Feldstärke.

<sup>2)</sup> Auf einer Kugel vom Radius r nimmt ein Teil der Kugeloberfläche F — vom Zentrum der Kugel aus betrachtet — den Raumwinkel  $\Omega = \frac{F}{r^2}$  ein.

<sup>3)</sup> Der Nullpunkt der absoluten Temperatur liegt bei  $-273^\circ\text{C}$ ; einer Raumtemperatur von  $20^\circ\text{C}$  entspricht also eine absolute Temperatur  $T = 293^\circ\text{K}$ .

<sup>4)</sup> Zwischen der Absorptionsfläche F (cm<sup>2</sup>), der von einem Sender am Empfangsort erzeugten Strahldichte S (W · cm<sup>-2</sup>) und der vom Empfänger aus dem Feld aufgenommenen Leistung N besteht die Beziehung  $N = S \cdot F$ .

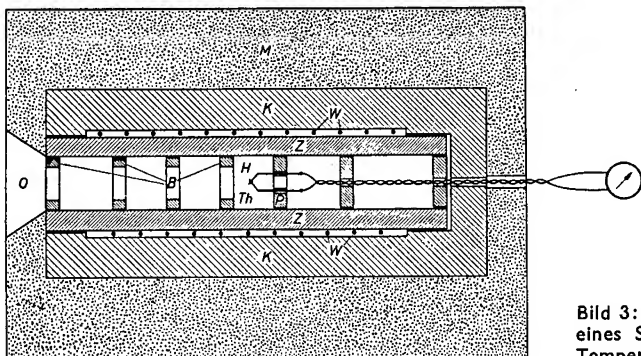


Bild 3: Technische Ausführung eines Schwarzen Körpers für Temperaturen bis etwa 1500°K

$$E \cdot \Delta F_s \cdot \Omega = \frac{2 f^2}{c^2} \cdot k T_s \cdot \Delta F_s \cdot \frac{F_e}{r^2}$$

ausgestrahlt.

Da unter den genannten Voraussetzungen jedes Flächenelement  $\Delta F_s$  gleichmäßig zur Gesamtstrahlung beiträgt, ist die gesamte Leistung, die in den Raumwinkel  $\frac{F_e}{r^2}$  abgestrahlt wird

$$N' = E \cdot \frac{F_s \cdot F_e}{r^2} = 2 \frac{f^2}{c^2} \cdot k T_s \cdot \frac{F_s \cdot F_e}{r^2} \quad (3)$$

Nun ist  $E$  die Energie pro Hz Bandbreite. Ist das Empfangsband  $\Delta f$  Hz breit, so ist  $\Delta f \cdot N'$  die im gesamten Band vorhandene

Energie; wegen  $\lambda = \frac{c}{f}$  wird dann aus (3)

$$N = \frac{F_s \cdot F_e}{r^2} \cdot 2 k T_s \cdot \frac{\Delta f}{\lambda^2} \quad (4)$$

Diese Strahlung soll einem wirklichen Empfänger zugeleitet werden. An Stelle der absorbierenden schwarzen Fläche  $F_e$  im Bild 4, wo die einfallende Strahlung in Wärme umgesetzt wurde, verwenden wir nun eine Empfangsantenne. Ein elektrischer Dipol kann nur solche Wellen empfangen, deren elektrischer Vektor parallel zur Längsachse des Dipols gerichtet ist. Weil bei der thermischen Strahlung im Zeitmittel jede Polarisationsrichtung gleich häufig vorkommt, schwingt immer ein bestimmter Anteil der Gesamtstrahlung senkrecht zur Längsachse des Dipols und wird somit von diesem überhaupt nicht empfangen. Es ist verständlich, daß somit nur die Hälfte der am Empfangsort vorhandenen Energie ausgenutzt werden kann. Setzt man in (4) für  $F_e$  die Absorptionsfläche des Dipols ein, so erhält man die Leistung, die man diesem bei Anpassung entnehmen kann. Die Absorptionsfläche für eine isotrope Antenne<sup>1)</sup> ist

$$F_i = \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (5)$$

Verwendet man einen Halbwellendipol, so ist

$$F_D = 1,64 \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (6)$$

Allgemein ist die Absorptionsfläche für irgendein Antennensystem vom Leistungsgewinn<sup>2)</sup>  $G_0$  in Hauptempfangsrichtung

$$F_e = G_0 \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (7)$$

Berücksichtigt man noch, daß  $\frac{F_s}{r^2} = \Omega^*$  der Raumwinkel ist, den der Strahler, vom Empfänger aus gesehen, einnimmt, so kann dem Antennensystem bei Anpassung die Leistung

$$N = G_0 \cdot \frac{\Omega^*}{4\pi} \cdot k T_s \Delta f \quad (8)$$

entnommen werden.

(8) ist sehr einfach aufgebaut. Am Schluß des Beitrages wird noch eine anschauliche Deutung dieser Gleichung besprochen. Sie wurde unter stark vereinfachten Annahmen abgeleitet, eine allgemeinere Ableitung zeigt, daß sie auch für beliebig große Raumwinkel gilt.

Zeitlicher Mittelwert  $= \sqrt{u^2}$

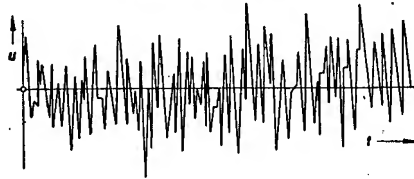


Bild 5: Zeitlicher Verlauf einer Rauschspannung

### Das thermische Rauschen eines Widerstandes

Der erste Abschnitt befaßte sich mit der Aussendung und Aufnahme thermischer Strahlung. Aus der abgeleiteten Endformel (8) sieht man, daß die am Empfänger verfügbare Rauschleistung linear mit der Breite des Empfangsbandes wächst.

In diesem und dem folgenden Abschnitt sollen zwei physikalische Gesetze erläutert werden, bei denen ebenfalls Proportionalität zwischen entnehmbarer Leistung und Bandbreite besteht: Nyquistrauschen und Schroteffekt.

Im Jahre 1926 fand Johnson, daß an den Enden eines ohmschen Widerstandes eine Spannung auftritt, die proportional zur absoluten Temperatur  $T$  des Widerstandes ist. Der zeitliche Mittelwert  $\bar{u}$  der Spannung ist Null wie bei einer Wechselspannung, der Verlauf des Momentanwertes ist völlig unregelmäßig (Bild 5).

Weil eine solche Spannung, genügend verstärkt, im angeschlossenen Lautsprecher ein Rauschen erzeugt, spricht man auch von Rauschspannung. Es ist nur sehr begrenzt möglich, irgendetwas über den Augenblickswert der Spannung auszusagen.

Um sich ein Maß zu schaffen, wird ein Effektivwert  $\sqrt{u^2}$  definiert, der dann in einem Widerstand die gleiche Wärmemenge entwickelt wie eine Gleichspannung vom Betrage  $\sqrt{u^2}$ .

Nyquist wies nun theoretisch nach, daß dieser Effektivwert der Rauschspannung der Beziehung

$$\bar{u}^2 = 4 k T_w R \Delta f \quad (9)$$

folgt, bei der  $R$  der ohmsche Widerstand und  $T_w$  seine absolute Temperatur ist. Die anderen Größen haben die Bedeutung wie im 1. Abschnitt.

Bei Anpassung an einen zweiten Widerstand, also  $R_i = R_a$  im Bild 6, liegt an diesem nur die halbe Spannung, so daß auf ihn nur der vierte Teil der Leistung übertragen wird

$$N = k T_w \Delta f \quad (10)$$

Das ist die dem Widerstand maximal entnehmbare Rauschleistung. Sie ist unabhängig vom Widerstandswert und steigt

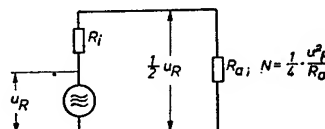


Bild 6: Ersatzschaltbild eines rauschenden Widerstandes

proportional mit der Temperatur  $T_w$  des Widerstandes und der erfaßten Bandbreite  $\Delta f$  an. Zahlenmäßig ist diese Leistung sehr klein. Für einen Widerstand von der Raumtemperatur  $T = 293^\circ \text{K}$  wird bei einer Bandbreite von 1 MHz  $N$  nach (10) etwa  $4 \cdot 10^{-16}$  Watt.

Welche Vorstellung kann man sich vom Entstehen des Widerstandsrauschens machen?

Ein Metall ist aufgebaut aus einem regelmäßigen räumlichen Gitternetzwerk, dessen Eckpunkte jeweils mit einem positiven Metallion<sup>3)</sup> besetzt sind (Bild 7). Zwischen diesen elastisch an die Gittereckpunkte gebundenen Metallionen können sich nun Elektronen frei wie die Moleküle eines Gases bewegen. In der kinetischen Gastheorie wird gezeigt, daß die Moleküle eines einatomigen Gases die kinetische Energie  $W_{kin} = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{3}{2} k T$  haben<sup>4)</sup>.

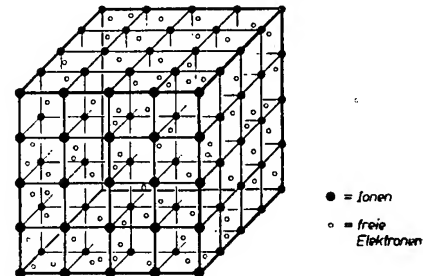


Bild 7: Metallgitter mit Elektronengas

Auch beim Elektronengas gilt, daß die mittlere kinetische Energie eines Elektrons proportional zu  $kT$  ist.

Jedes Elektron bewegt sich geradlinig gleichförmig mit einer Geschwindigkeit, die um einen mittleren Wert  $v \approx \sqrt{kT}$  streut. Ein Zusammenstoß mit einem Partner gibt der geradlinigen Bewegung eine andere Richtung<sup>5)</sup>. Ein mit der Geschwindigkeit  $v$  fliegendes Elektron entspricht einem Strom  $i$ , der also während der Flugzeit des Elektrons fließt und proportional zu  $v$  ist<sup>6)</sup>. Ist  $\alpha$  der Winkel zwischen Bahnrichtung und Längsachse des Widerstandes, so wirkt in Längsrichtung nur die Komponente  $v \cdot \cos \alpha$ .

$$i \approx v \cdot \cos \alpha \quad (11)$$

Im Bild 8 ist eine mögliche Zickzackbahn skizziert und darunter sind die dadurch hervorgerufenen Stromstöße aufgezeichnet ( $v = \text{konst.}$ ). Jeder Flugweg erzeugt

<sup>1)</sup> Eine isotrope Antenne ist gegenüber einem Dipol dadurch ausgezeichnet, daß sie gleichmäßig aus jeder Richtung des Raumes Energie empfangen kann. Praktisch ist sie nur annähernd durch entsprechende Kombination von Dipolen zu verwirklichen.

<sup>2)</sup>  $G_0$  ist hier auf den isotropen Strahler bezogen. Ist der Leistungsgewinn der Antenne, bezogen auf den Hertzischen Dipol  $G_0'$ , so gilt die Beziehung:  $G_0 = \frac{3}{2} G_0'$ .

<sup>3)</sup> Ein Atom besteht aus einem positiv geladenen Atomkern und einer Anzahl Elektronen, die den Kern auf Bahnen umkreisen. Die positive Kernladung wird durch die Elektronen gerade kompensiert. Wird dem neutralen Atom ein Elektron entfernt, so überwiegt die positive Kernladung, es ist zum Ion geworden.

<sup>4)</sup> Siehe z. B. Westphal, Lehrbuch der Physik.

<sup>5)</sup> Diese Vorstellung ist sehr stark vereinfacht.

<sup>6)</sup> Siehe z. B. Gerthsen, Seite 255.

wegen der verschiedenen Neigung gegen die Achse einen verschieden großen und verschieden gerichteten, wegen der unterschiedlichen Flugzeit einen verschieden langen Stromstoß.

Die geeignete Summation der Stromstöße, auf die hier nicht im einzelnen eingegangen werden kann<sup>1)</sup>, liefert dann die Nyquistsche Formel (9).

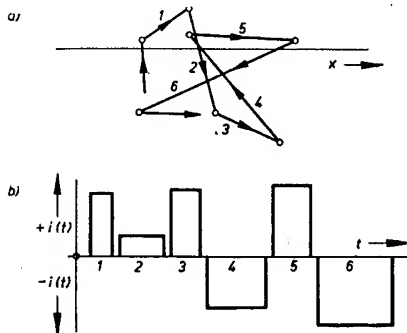


Bild 8: Bahn eines Elektrons im Leiter (a) und dieser Bahn entsprechende Stromimpulse (b), x = Achse = Längsachse des Leiters

Tatsächlich ist die Gültigkeit der Nyquistschen Formel nun nicht auf Leitungsmechanismen beschränkt, die etwa dem geschilderten Modell entsprechen, sondern sie gilt darüber hinaus unabhängig von der Art der Leitung für jeden ohmschen Widerstand, z. B. auch für einen Elektrolyten. Die allgemeine Ableitung (Nyquist 1928) erfolgt auf thermodynamischem Wege und ist völlig frei von irgendwelchen Annahmen über die Art der Widerstände.

### Der Schrotteffekt

Prinzipiell mit dem Widerstandsrauschen verwandt ist der Schrotteffekt. Legt man an eine Zweipolröhre eine Anodenspannung an, die so hoch ist, daß alle von der Katode emittierten Elektronen abgesaugt werden, so ist dem Anodenstrom I noch ein Rauschstrom  $\bar{i}^2$  überlagert, der sich aus folgender Beziehung ergibt:

$$\bar{i}^2 = 2 e \cdot I \cdot \Delta f \quad (12)$$

$e = 1.60 \cdot 10^{-19}$  C, Elementarladung

$I$  = Anodenstrom in A

$f$  = Frequenzbandbreite

Diese Beziehung hat zuerst Schottky im Jahre 1936 abgeleitet. Wir betrachten eine ebene Elektrodenanordnung (s. Bild 9), an der eine sehr hohe Anodenspannung  $U$  liegt. Die geheizte, ebene Katode emittiert Elektronen, sie sollen beim Austritt die Geschwindigkeit Null haben und werden sofort geradlinig zur Anode abgesaugt. Wie beim freien Fall führen sie eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung aus, da die antreibende Kraft  $\mathfrak{R} = e\mathfrak{E}$  konstant ist. Unmittelbar vor dem Aufprall auf die Anode ist die Beschleunigungsarbeit  $e \cdot U$  restlos in kinetische Energie  $\frac{1}{2} m v^2$  umgesetzt; daraus kann die Geschwindigkeit beim Aufprall berechnet werden:

$$v = \sqrt{\frac{2e}{m} \cdot U} \quad (13)$$

Die gesamte Flugzeit  $\tau$  von der Katode zur Anode kann man ebenfalls nach den Formeln des freien Falls berechnen:

$$\tau = \frac{2 \cdot d}{v} = \frac{2 \cdot d}{\sqrt{\frac{2 \cdot e}{m} \cdot U}} \quad (14)$$

$d$  = Anoden-Katodenabstand,  
 $e/m$  = spezifische Ladung des Elektrons.

In üblichen Röhrensystemen ist die Laufzeit  $\tau$  außerordentlich kurz, wie das folgende Zahlenbeispiel erkennen läßt.

Ein Röhrensystem mit einem Anoden-Katodenabstand  $d = 5$  mm wird mit  $U = 200$  V gespeist. Mit  $e/m = 1,76 \cdot 10^9$  C/g =  $1,76 \cdot 10^{15}$  cm<sup>2</sup> V<sup>-1</sup> s<sup>-2</sup> berechnet man die Laufzeit zu

$$\tau = \frac{2 \cdot 0,5 \text{ cm}}{\sqrt{3,52 \cdot 10^{15} \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 200 \text{ V}}} \approx 1,2 \cdot 10^{-9} \text{ s}.$$

Mit dem Übergang eines Elektrons von der Katode zur Anode wird die Ladung  $e$  transportiert. Dieselbe Ladung wird durch einen Strom  $i_0$  transportiert, der während der Flugzeit  $\tau$  des Elektrons kontinuierlich fließt und durch

$$i_0 = \frac{e}{\tau} \quad (15)$$

gegeben ist<sup>2)</sup>.

Jeder Übergang eines Elektrons erzeugt solchen rechteckförmigen Stromimpuls. Für einen Anodenstrom von 1 mA müssen pro Sekunde  $6,3 \cdot 10^{15}$  Elektronen von der Katode zur Anode gelangen, die nun völlig unregelmäßig dort ankommen. Eine Handvoll kleiner Bleischrotkugeln, die aus einiger Höhe senkrecht auf eine ebene Tischplatte fallen und dort beim Auftreffen ein Prasseln erzeugen, bilden ein der ersten Anschauung dienendes Modell.

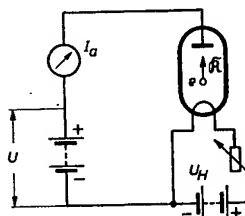


Bild 9: Schaltung einer gesättigten Diode

Zur Berechnung des Schrotteffektes zerlegt man zuerst den einzelnen Stromimpuls (15) in seine Fourierkomponenten. Solange nur Frequenzen betrachtet werden, die klein gegen  $1/\tau$  sind (im Zahlenbeispiel  $1/\tau \approx 1000$  MHz), findet man im Spektrum alle Frequenzen von  $f_1 = 0$  bis  $f_2 < 1/\tau$  mit gleicher Intensität. Jeder Stromimpuls liefert nun ein solches Spektrum, nur die Phasenlage der einzelnen Fourierkomponenten ist bei jedem Impuls anders. Wegen dieser statistisch verteilten Phasenlage muß man die von den einzelnen Impulsen herrührenden Fourierkomponenten quadratisch summieren. Das Quadrat des Effektivstromes wächst proportional zur erfaßten Bandbreite  $\Delta f$ . Führt man die hier nur skizzierte Rechnung explizit durch, so erhält man die Schottkysche Beziehung (12).

Diese einfache Beziehung (12) bleibt entsprechend den Voraussetzungen bei ihrer Ableitung<sup>1)</sup> nur solange gültig, wie in der verwendeten Diode die Elektronenlaufzeit vernachlässigt werden kann (im Zahlenbeispiel muß dazu  $f < 1000$  MHz sein). In diesem Fall erzeugt die gesättigte Diode ein weißes Rauschen, d. h. ein Rauschen, bei dem die Amplitude unabhängig von der Frequenz ist. Ist die Laufzeit nicht mehr zu vernachlässigen, so nimmt die Schwankungsamplitude mit wachsender Frequenz ab.

Wird der Rauschstrom (12) über einen Widerstand geleitet, so entsteht dort die Rauschleistung

$$N = \bar{i}^2 \cdot R = 2 \cdot e \cdot I \cdot R \cdot \Delta f. \quad (16)$$

Diese ist im Gegensatz zum Widerstandsrauschen von der Größe des ohmschen Widerstandes abhängig. Im Anpassungsfall kann  $1/4$  dieser Leistung auf einen zweiten Widerstand übertragen werden, vgl. auch (10).

In normalen Verstärkerröhren bildet der Schrotteffekt eine unerwünschte Störungsquelle, er ist mit dafür verantwortlich, daß prinzipiell für Röhrenverstärker eine obere Grenze der Verstärkung existiert. In der gesättigten Diode dagegen wird gerade der Schrotteffekt ausgenutzt; man verändert praktisch die Katodentemperatur durch Änderung der Heizspannung, die an der Diode liegt, und variiert damit die Zahl der emittierten Elektronen und damit den Anodenstrom.

### Zusammenfassung

In den vorangegangenen Abschnitten wurden drei Gesetze erläutert, die für Messungen in der Radioastronomie bedeutsam sind. Das im ersten Abschnitt Gesagte trifft etwa auf den Empfang radioastronomischer Quellen zu. Obgleich die empfangene Strahlung nicht nur thermischen Ursprungs ist, erhält man doch in vielen Fällen ein Rauschsignal, das sich auch über ein weites Frequenzband erstreckt. Die aus dieser gemessenen Intensität berechneten Temperaturen stimmen nicht mit den wirklichen, thermodynamischen Temperaturen der Strahler überein. Man bezeichnet die berechneten Temperaturen dann als Äquivalenttemperaturen. Nur bei einer schwarz strahlenden Quelle stimmt die berechnete Äquivalenttemperatur mit ihrer thermodynamischen Temperatur überein.

Die in den nächsten beiden Abschnitten besprochenen Gesetze sind zur absoluten Messung der empfangenen Strahlung wichtig. Die folgende kleine Tabelle bringt nochmals eine Zusammenstellung der gewonnenen Resultate.

Man sieht, daß die Rauschleistung beim Widerstand in besonders einfacher Weise

<sup>1)</sup> Sie erfolgt über die spektrale Zerlegung des einzelnen Stromimpulses und geeignete Summation der Fourierkomponenten, vgl. auch Abschnitt 3.

<sup>2)</sup> Es wird hier davon abgesehen, daß sich das Elektron beschleunigt bewegt, also einen dreieckförmigen Stromimpuls hervorruft. Infolge dieser Vernachlässigung weichen die tatsächlichen Verhältnisse von den hier berechneten ab bei Frequenzen, die nicht mehr klein gegen  $\frac{1}{\tau}$  sind.



Tabelle

	Isotroper Strahler	Antennensystem	Widerstandsrauschen	Schrot-rauschen
Verfügbare Rauschleistung	$\frac{\Omega^*}{4\pi} kT_s \Delta f$	$G_0 \cdot \frac{\Omega^*}{4\pi} kT_s \Delta f$	$kT_w \Delta f$	$\frac{1}{2} eIR \Delta f$

nur von seiner Temperatur und der beobachteten Bandbreite abhängt. Deshalb wird das Widerstandsrauschen häufig als Normal verwendet. In der Empfänger-technik wird als Standardrauschquelle ein mit Zimmertemperatur  $T_0$  rauschender Widerstand benutzt. Alle Rauschleistungen werden in Einheiten von  $kT_0 = 4 \cdot 10^{-21}$  Ws gemessen. In der Radioastronomie ist es üblich, unmittelbar die Temperatur  $T$  des Widerstandes zu nennen.

Diese Temperatur  $T$  bezeichnet man als seine Rauschtemperatur. Unabhängig von der Art der Entstehung der Rauschspannung spricht man bei jedem rauschenden Zweipol von seiner Rauschtemperatur und meint damit die Temperatur, die ein Widerstand annehmen müßte, um unter völlig gleichen Meßbedingungen die gleiche Rauscheinströmung in die Meßapparatur zu liefern.

Von einem Antennensystem ist eine Rauschleistung  $N = G_0 \cdot \frac{\Omega^*}{4\pi} \cdot kT_s \Delta f$  verfügbar. Wird ein Widerstand auf die Temperatur  $T_A$  erhitzt, so daß er die gleiche Rauschleistung abgibt wie die Antenne, so gilt

$$G_0 \cdot \frac{\Omega^*}{4\pi} \cdot kT_s \cdot \Delta f = kT_A \Delta f \quad \text{oder}$$

$$T_A = G_0 \cdot \frac{\Omega^*}{4\pi} \cdot T_s. \quad (17)$$

(17) ist die Rauschtemperatur der Antenne oder auch kurz die Antennentemperatur<sup>1)</sup>. Man erkennt, daß ein einfacher, linearer Zusammenhang zwischen der meßbaren Temperatur  $T_A$  und der Äquivalenttemperatur  $T_s$  der Strahlungsquelle besteht. Sobald Antennengewinn  $G_0$  und scheinbare Größe  $\Omega^*$  der Quelle bekannt sind, kann aus  $T_A$   $T_s$  berechnet werden.

Gleichung (17) erlaubt noch eine interessante thermodynamische Auslegung. Wir denken uns einen schwarz strahlenden, kugelförmigen Hohlraum  $H$ , dessen Wände gleichmäßig auf die Temperatur  $T_s$  erhitzt werden (Bild 10). Im Innern befindet sich eine isotrope Empfangsantenne  $A^2)$  — als Dipol gezeichnet —, die über eine verlustlose, auch keine Wärme abführende Energieleitung  $L$  mit

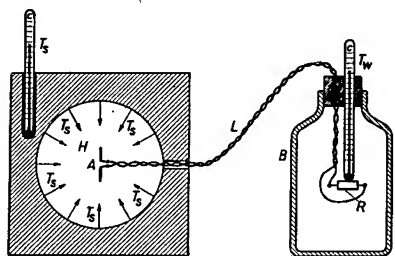


Bild 10: Zum Gleichgewicht Hohlraumstrahlung — Widerstandsrauschen

einem außerhalb des Hohlraums befindlichen Widerstand  $R$  gekoppelt ist. Der Widerstand steckt in einem ideal wärmeisolierenden Behälter  $B$ , so daß im gesamten System keinerlei Wärme verlorengehen kann. Der Antennengewinn  $G_0$  der isotropen Antenne ist 1, da die isotrope Antenne ja als Bezugsnorm verwendet wird.

Von der Empfangsantenne aus gesehen, füllt die strahlende Wandung des Hohlraums den gesamten Raumwinkel  $\Omega^* = 4\pi$  aus. Nach (17) ist dann  $T_A = T_s$ . Der Widerstand habe anfangs eine Temperatur  $T_w$ . Ist nun  $T_s > T_w$ , so wird ihm so viel Energie zugeführt und in Wärme umgesetzt, bis  $T_s = T_w$  ist. Dann ist das System im thermodynamischen Gleich-

gewicht und dem Widerstand wird über die Antenne genauso viel Energie zugestrahlt, wie er durch sie wieder in den Hohlraum zurückstrahlt.

Wird an Stelle der isotropen Antenne eine Antenne mit dem Gewinn  $G_0$  verwendet, so ist das System ebenfalls im Gleichgewicht, wenn  $T_s = T_A = T_w$  ist. Die Antenne mit dem ausgeprägten Richtdiagramm ist zwar in ihrer Hauptempfangsrichtung empfindlicher, nimmt dafür aber aus anderen Richtungen des Raumes weniger oder gar keine Energie auf. Auf den Beweis dafür verzichten wir hier.

Die besprochenen Naturgesetze gehören sowohl der Elektrodynamik als auch der Thermodynamik an. Besonders das letzte Beispiel zeigt, wie eng doch diese beiden Teilgebiete der Physik miteinander verknüpft sind.

<sup>1)</sup> Gilt unter der Voraussetzung, daß der Verlustwiderstand der Antennen klein gegen den Strahlungswiderstand ist; trifft im dm-Bereich etwa zu.

<sup>2)</sup> Siehe Anmerkung<sup>1)</sup> auf Seite 377



## Ein Ingenieur stellt sich zur Wahl

Carl Holzweißig, geb. am 9. 5. 1930, Ingenieur im VEB Werk für Fernmeldewesen WF, Kandidat der Bezirksverordnetenversammlung von Köpenick.

Wir besuchen Ing. Holzweißig an seinem Arbeitsplatz im Büro für Erfindungswesen des WF. Hier stellt sich uns Carl Holzweißig als Sachbearbeiter im Patentwesen vor. Schnell kommen wir mit ihm ins Gespräch. Über den Weg der Berufsausbildung des jungen Ingenieurs erfahren wir: 1947 lernte er Elektromechaniker, lernte gut und konnte seine Lehre bereits nach zweieinhalb Jahren abschließen. Später hatte er die Möglichkeit, seine Fähigkeiten durch ein Ingenieurstudium noch weiterzuentwickeln. Als Jungingenieur von der Fachschule für Elektrotechnik, Mittweida, kommend, begann seine Ingenieurlaufbahn 1953 im WF, wo er nach zwei Jahren als Nachwuchsingenieur in das Büro für Erfindungswesen ging. Dort erwartete ihn eine interessante, höchst verantwortliche neue Tätigkeit. Die Bearbeitung der von Ingenieuren und Technikern des Werkes vorgelegten Erfindungen bis zum Ausarbeiten der Patentschrift verlangt neben umfassender Fach- und Sachkenntnis auch ein besonderes psychologisches Einfühlungsvermögen im Umgang mit Menschen. Und wie uns der Leiter des BfE, Kollege Wendland, gern bestätigt, verfügt Kollege Holzweißig über diese unerlässlichen Voraussetzungen und leistet bereits heute eine vorbildliche Arbeit. Um die Interessen seiner Kollegen aus der volkseigenen Wirtschaft in Zukunft noch besser und qualifizierter vertreten zu können, will Carl Holzweißig im nächsten Jahr mit dem von unserer Regierung neu eingerichteten Fernstudium auf dem Gebiet des gewerblichen Rechtsschutzes mit dem Abschluß als Patentingenieur beginnen. Sein wei-

teres Ziel ist dann später einmal der Patentanwalt.

Als Mensch, der unserer Zeit aufgeschlossen gegenübersteht, beschränkt sich Carl Holzweißig nicht nur auf seine fachlichen Aufgaben. Die FDJ-Kreisleitung Köpenick schlug ihn im Mai 1956 als Nachfolgekandidat in die Kommission für Jugendfragen der Bezirksverordnetenversammlung Köpenick vor. Heute steht sein Name wiederum in der gemeinsamen Kandidatenliste der Nationalen Front zur Bezirksverordnetenversammlung von Köpenick. Carl Holzweißig will, wenn er gewählt wird, in der Kommission für Jugendfragen mithelfen, die jugendlichen „Eckensteher“ in Köpenick von der Straße weg einer Gemeinschaft zuzuführen, in der jeder, seinen Neigungen entsprechend, sich mit Sport, Literatur und sonstigen „Hobbies“ beschäftigen und am gesellschaftlichen Leben unseres Arbeiter-und-Bauern-Staates teilhaben kann. Viel Arbeit wird es weiterhin bei der Betreuung der zahlreichen Jugendlichen geben, die an dem vorgesehenen Wohnungsbauprogramm in Köpenick mitwirken werden. Wir verabschieden uns von Carl Holzweißig, dem wir für seine berufliche und ebenso verantwortungsvolle Tätigkeit als Bezirkstagsabgeordneter viel Erfolg wünschen, mit der Überzeugung, einen Menschen kennengelernt zu haben, der seinen vielfachen Aufgaben überall gewachsen sein wird. Ein Mensch, jung, verantwortungsbewußt, sehr zielstrebig und ausdauernd, ist er ein gutes Beispiel für die Kandidaten der Nationalen Front, die sich am 23. Juni unserer Wahl stellen.

JENS TAUBENHEIM

## DIE IONOSPHERE

Eine bedeutsame Stellung im Programm des Internationalen Geophysikalischen Jahres nimmt die Erforschung der Ionosphäre ein. Diese ionisierten Schichten der oberen Erdatmosphäre, in denen die Reflexion und Absorption der Radiowellen stattfindet, umschließen bekanntlich die gesamte Erdkugel. Da der Zustand der Ionosphäre beträchtlichen räumlichen und zeitlichen Schwankungen unterliegt, ergibt sich die Notwendigkeit, zur ständigen Überwachung der Ionosphäre ein Netz von Beobachtungsstationen einzusetzen, das möglichst gleichmäßig über die ganze Erde verteilt ist. Obwohl in den rund dreißig Jahren seit der Entdeckung der Ionosphäre durch Appleton und Barnett (1925) eine große Anzahl von Ionosphärenstationen eingerichtet wurde, bestanden doch bisher noch ausgedehnte Lücken in ihrer geographischen Verteilung. Das IGJ bietet nun die Möglichkeit, in einer gemeinsamen gleichzeitigen Anstrengung aller Länder der Erde das Netz der Ionosphärenstationen durch Einrichtung neuer oder wenigstens vorübergehend betriebener Stationen in einem solchen Maße zu verdichten, daß wichtige neue Erkenntnisse über die Struktur und die Veränderungen der Ionosphärenschichten gewonnen werden können (Bild 1). Weiterhin wird in diesem Rahmen eine internationale Vereinheitlichung der Beobachtungsmethoden erreicht, die es gestatten wird, die Ergebnisse aller Stationen unmittelbar miteinander zu vergleichen. An diesem Programm beteiligt sich auch das Heinrich-Hertz-Institut der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin mit seiner Ionosphärenstation

in Juliusruh auf Rügen, deren Messungen im Geophysikalischen Jahr erheblich erweitert werden.

Die Ergebnisse der Ionosphärenforschung kommen in erster Linie dem Kurzwellenfunkverkehr zugute, der um so sicherer und wirtschaftlicher arbeiten kann, je besser der Zustand der Ionosphäre bekannt ist und vorhergesagt werden kann [vgl. die Beiträge von H. Lange in RADIO UND FERNSEHEN Nr. 17 (1956) und Nr. 2 (1957)]. Darüber hinaus liefern die Ionosphärenbeobachtungen aber auch Aufschlüsse über die physikalisch-meteorologischen Verhältnisse in den höheren Luftschichten, die vor allem mit der Entwicklung der Raketenflugtechnik an Bedeutung gewinnen. Schließlich zeigt die Ionosphäre Veränderungen und besondere Erscheinungen der Sonnenstrahlung an, die uns über Vorgänge auf der Sonne Auskunft geben. So kommt der Ionosphärenforschung ein gemeinsames Interesse von Funktechnik, Geophysik und Astrophysik zu.

### Die Methoden der Ionosphärenforschung

#### Radarprinzip

Die Tatsache, daß Radiowellen von den Ionosphärenschichten reflektiert werden, liefert uns die besten Verfahren zu ihrer Untersuchung, die auch durch den unmittelbaren Vorstoß in die Ionosphäre mit Raketen [siehe auch H. Volland „Die Erforschung der Hochatmosphäre mit Hilfe von Raketen“ in Nr. 13 (1957)] niemals ersetzt werden können. Die Meßmethodik der Ionosphärenforschung fällt damit in das Gebiet der Hochfrequenz-

technik. Das „klassische“ Verfahren, das 1926 von den Amerikanern Breit und Tuve eingeführt wurde, beruht auf dem Radarprinzip. Man sendet kurze Hochfrequenzimpulse (deren Dauer etwa 100 Mikrosekunden beträgt) senkrecht nach oben in die Atmosphäre und mißt die Laufzeit, bis der von der Ionosphäre

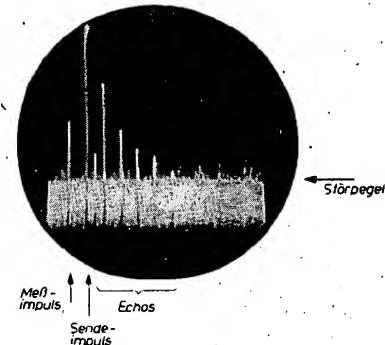


Bild 2: Echobild auf dem Oszillografenschirm

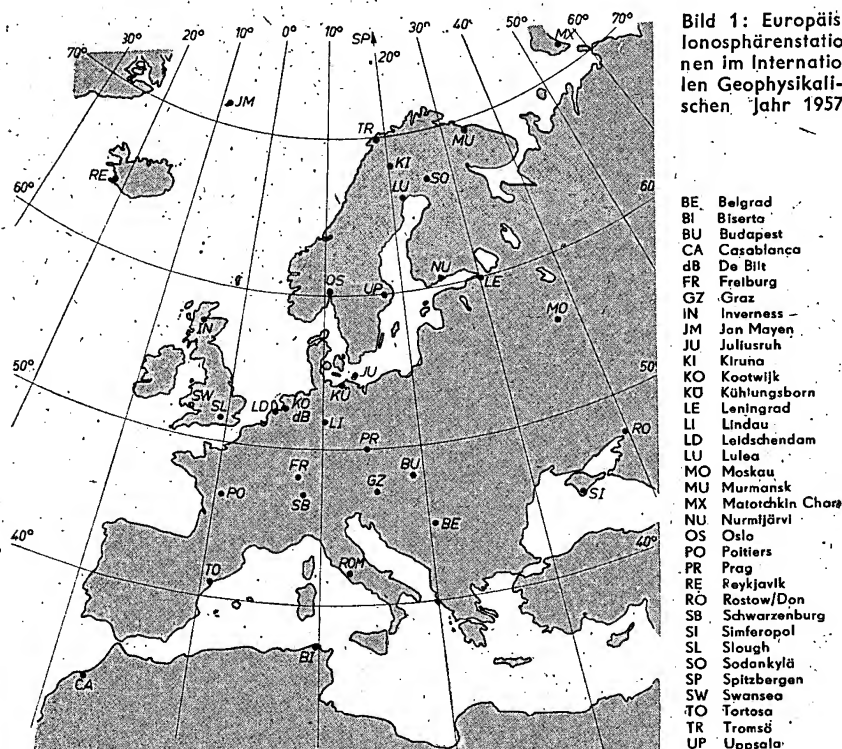
reflektierte Impuls (das „Echo“) wieder am Erdboden eintrifft. Diese Laufzeitmessung erfolgt mit einem Oszillografen, und man findet dabei Laufzeiten von etwa 0,6 bis 2 Millisekunden. Nimmt man an, daß sich die Impulse mit Lichtgeschwindigkeit fortpflanzen, so folgt daraus, daß die Reflexion in Höhen zwischen 90 und 300 km über der Erdoberfläche stattfindet. Bild 2 zeigt ein solches Echobild auf dem Oszillografenschirm, wobei der Oszillograf gleichzeitig als Meßinstrument für die empfangene Eingangsspannung dient. Links neben dem Sendepuls befindet sich hierzu ein geeichter Meßimpuls, mit dem die Eingangsspannungen der einzelnen Echos unmittelbar gemessen werden können. Bei den Echos (rechts neben dem Sendepuls) treten auch Mehrfachreflexionen auf, wobei der Impuls mehrmals zwischen Erde und Ionosphäre hin und her gelaufen ist; erkenntlich daran, daß die Echos konstante Abstände voneinander haben.

Die Beobachtungen zeigen, daß sich die Echolaufzeiten bei bestimmten Werten häufen, die Reflexionshöhen von etwa 100, 200 und 250 bis 350 km entsprechen. Das weist darauf hin, daß die Ionosphäre aus mehreren voneinander unterscheidbaren Schichten aufgebaut ist, die stets in den gleichen Höhenlagen auftreten. Wir bezeichnen diese Schichten mit den Buchstaben E (in etwa 100 km Höhe), F<sub>1</sub> (in etwa 200 bis 250 km Höhe) und F<sub>2</sub> (in 250 bis 350 km Höhe).

#### Durchdringungsverfahren

Streng betrachtet, handelt es sich nicht um eine Reflexion der Wellen an den Ionosphärenschichten, sondern um eine Brechung (Refraktion), die von der Stärke der Ionisation (Anzahl der freien Elektronen im cm<sup>3</sup> der Ionosphärenschicht) und der benutzten Wellenlänge abhängt. Die freien Elektronen werden durch das

Bild 1: Europäische Ionosphärenstationen im Internationalen Geophysikalischen Jahr 1957/58



elektrische Wechselfeld der Radiowelle zum Mitschwingen gezwungen. Dadurch wird die Dielektrizitätskonstante  $\epsilon$  der ionisierten Luft verschieden von 1, ebenso der Brechungsindex  $n$  gemäß der Gleichung  $n^2 \approx \epsilon$ .

Wird diese Brechung genügend stark, so wird der vom Erdboden aus abgesandte Funkstrahl so weit umgelenkt, daß er zur Erdoberfläche zurückkehrt. Der höchste Punkt, den eine senkrecht nach oben gerichtete Welle der Frequenz  $f$  (in MHz) dabei erreichen kann — also der effektive „Reflexionspunkt“ — liegt dort, wo die Elektronendichte den Wert

$N = 1,24 \cdot 10^4 \cdot f^2$  Elektronen pro  $\text{cm}^3$  (1) hat. Da die Ionisation nicht in allen Schichten gleich groß ist, wird es also von der benutzten Frequenz abhängen, von welcher Schicht wir ein Echo erhalten. Schematisch sind diese Verhältnisse (für einen Sommertag) im Bild 3 verdeutlicht. Die höchste Frequenz, die noch von der Schicht reflektiert werden kann (die sogenannte „Grenzfrequenz“) wird nach der obigen Gleichung (1) durch den maximalen Wert der Elektronendichte in der Schicht bedingt.

Wenn wir also ein vollständiges Bild über den Zustand der Ionosphäre und ihren Einfluß auf die Radiowellen gewinnen wollen, ist es erforderlich, die Impulselcholotung auf möglichst vielen Frequenzen vorzunehmen. Hierfür benutzt man

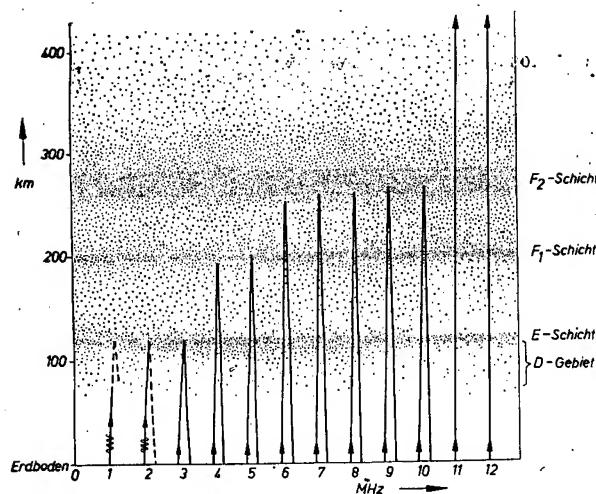


Bild 3: Die Ionosphärenschichten und ihr Einfluß auf Kurzwellen verschiedener Frequenzen

heute allgemein das sogenannte Durchdrehimpulsverfahren, bei dem ein großer Frequenzbereich kontinuierlich durchlaufen wird. Aufbau und Wirkungsweise einer solchen Durchdrehanlage werden von H. Stadlmann auf Seite 388 beschrieben. Die mit diesem Verfahren gewonnenen „Durchdrehaufnahmen“, von denen im Bild 4 ein Beispiel gezeigt ist, stellen in fotografischer Registrierung die Echolotzeit als Funktion der Frequenz dar. Sie liefern die Höhen und Grenzfrequenzen der Schichten und bilden damit die Grundlage der Ionosphärenforschung. Eine Durchdrehanlage gehört daher zur Standardausrüstung einer Ionosphärenstation. Die erhaltenen Grenzfrequenzen geben nicht nur den Betrag der Ionisation in den Schichten an, sondern auch die oberen Grenzen des für eine

Kurzwellenübertragung benutzbaren Frequenzbereiches, die sich aus den bei senkrechtem Einfall gemessenen Grenzfrequenzen nach der Gleichung ergeben:

$$\text{Höchste brauchbare Frequenz} = \frac{\text{Grenzfrequenz (senkrecht)}}{\cos \varphi} \quad (2)$$

$\varphi$  ist dabei der Einfallswinkel des Funkstrahls in die Ionosphärenschicht, der sich aus den geometrischen Verhältnissen des Übertragungsweges bestimmt.

#### Dämpfungsmessungen

Die Anwesenheit freier Elektronen in den Ionosphärenschichten bringt eine gewisse

und deshalb als „D-Gebiet“ bezeichnet wird.

Da die Luftdichte dort wesentlich größer ist als in den höher gelegenen Schichten, kommt es besonders häufig zu Zusammenstößen zwischen den freien Elektronen und den Luftmolekülen, wobei die Elektronen ihre Bewegungsenergie verlieren. Diese Energie entziehen sie aber der Radiowelle, die auf diese Weise gedämpft wird. Die Dämpfung nimmt mit wachsender Frequenz ab, und zwar nach der Beziehung:

$$\text{Dämpfung in dB} \sim \frac{1}{(f + 1,3)^2} \quad (3)$$

$f$  in MHz.

Daher wirkt sich die Dämpfung vor allem auf den längeren Wellen aus, so daß die Mittelwellen (Rundfunkbereich) am Tage praktisch nicht mehr über die Ionosphäre übertragen werden können, wie es auch im Bild 3 angedeutet ist.

Die Anzahl der freien Elektronen ist im D-Gebiet andererseits nicht groß genug, um eine Reflexion von Kurzwellen bewirken zu können. Daher bieten die Dämpfungsmessungen die beste Möglichkeit zur Untersuchung des D-Gebietes und sollen aus diesem Grunde im IGJ eine bedeutende Erweiterung ihres bisherigen Umfangs erfahren.

#### Driftmessungen

Die Amplituden der Ionosphärenechos weisen sich nicht als konstant, sondern sind mehr oder weniger raschen Schwankungen unterworfen, die bei der Kurzwellenübertragung als Fading bekannt sind und nicht als Schwankungen der Dämpfung erklärt werden können. Man muß vielmehr schließen, daß die reflektierenden Ionosphärenschichten nicht „glatt“ sind, sondern eine unregelmäßige, wolkenartige oder wellige Struktur haben. Ähnlich wie bei der Reflexion des Lichtes an einer unruhigen Wasseroberfläche erhalten wir dann von der Ionosphäre zahlreiche Reflexionen mit ständig schwankenden kleinen Phasendifferenzen, deren Überlagerung zum endgültigen Echoimpuls die Fadings verursacht. Registriert man diese Amplitudenschwankungen auf mehreren Antennen, die in Abständen weniger Wellenlängen voneinander aufgestellt sind, so zeigt sich, daß die Maxima und Minima der Amplitude nicht auf allen Antennen gleichzeitig (oder auch regellos) eintreten, sondern vielmehr deutliche systematische Wanderungserscheinungen

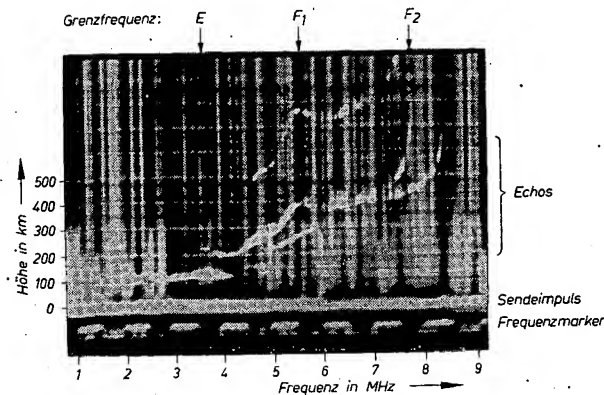


Bild 4: Ionosphären-durchdrehaufnahme (Juliusruh/Rügen, Juni 1956 mittags)

aufweisen, die auf eine entsprechende Wanderung der ionosphärischen Strukturelemente hindeuten. Stellt man drei Antennen so an den Ecken eines rechtwinkligen Dreiecks auf, daß man die Nord-Süd- und die Ost-West-Komponenten der Wanderung getrennt beobachtet, so lassen sich aus den Zeitdifferenzen der Extremwerte zwischen den Antennen sowohl die Geschwindigkeit als auch die Richtung der Wanderung bestimmen, die nach den bisherigen Erfahrungen offensichtliche Gesetzmäßigkeiten befolgen. Ob es sich hierbei um Strömungsvorgänge (Wind) oder um Wellenbewegungen (Plasmawellen) handelt, ist bisher noch nicht geklärt. Von der systematischen Beobachtung im Weltmaßstab im Geophysikalischen Jahr erhofft man eine Klärung dieser Probleme.

### Sonne und Ionosphäre

#### Die regelmäßigen Veränderungen der Ionosphäre

Wenden wir uns den Ergebnissen der Ionosphärenforschung zu und fragen nach den Ursachen der Ionisation und ihrer Änderungen, so werden wir stets und überall auf einen Zusammenhang mit der Sonne geführt. Die Elektronendichten aller Ionosphärenschichten zeigen einen eindeutigen Gang mit der Tageszeit. Um Sonnenaufgang setzt ein starker Anstieg der Ionisation ein, der zu einem Maximum um die Mittagszeit führt, während abends bzw. nachts die Elektronendichte auf niedrige Werte zurückgeht oder sogar ganz verschwindet.

Der physikalische Vorgang ist folgender: Wird ein Luftmolekül oder -atom von einem Lichtquant hoher Energie (im allgemeinen ultraviolettes Licht) getroffen, so wird aus dem Atomverband ein Elektron herausgelöst, während das vorher neutrale Atom oder Molekül als positiv geladenes Ion zurückbleibt. Diesen Vorgang nennt man bekanntlich Ionisation; die Lichtquanten dazu liefert die Sonnenstrahlung. Das auf solche Weise frei gewordene Elektron vereinigt sich nach einer gewissen Zeit (die von der Luftdichte und -temperatur abhängt) wieder mit einem positiven Ion zu einem neutralen Teilchen („Rekombination“). Da der Betrag, der auf eine horizontale Fläche fallende Energie vom Einfallswinkel der Strahlung abhängt, ist die Ionisation proportional dem  $\sin h$ , wobei  $h$  die Höhe der Sonne über dem Horizont ist. Die Anzahl  $N$  der freien Elektronen in  $\text{cm}^3$  befolgt hiernach die Differentialgleichung

$$\frac{dN}{dt} = q_0 \sin h - \alpha N^2, \quad (4)$$

worin das erste Glied auf der rechten Seite die Zunahme der freien Elektronen durch Ionisation, das zweite Glied ihr Verschwinden durch Rekombination ausdrückt. Die Konstante  $\alpha$  wird als Rekombinationskoeffizient bezeichnet.

Mit den jahreszeitlichen Änderungen der Sonnenhöhe kommt natürlich auch ein Jahresgang der Ionisation zustande, der sich etwa in dem Betrag des mittäglichen Höchstwertes der Elektronendichte bemerkbar macht.

Diese Gesetzmäßigkeiten werden von den Ionosphärenschichten im allgemeinen gut befolgt und bilden damit die Grundlage für die Vorhersage des Ionosphärenzustandes. Der Tagesgang der  $F_2$ -Schicht weicht jedoch im Sommer vom einfachen Sonnenstandsgesetz in einer charakteristischen Weise ab, deren Erklärung bisher noch nicht befriedigend gelungen ist. In den Sommermonaten erreicht die Elektro-

nendichte der  $F_2$ -Schicht gegen Mittag nur ein niedriges Nebenmaximum, ihr wesentlich höheres Hauptmaximum liegt dagegen in den Abendstunden. Da diese Form des Tagesganges sehr konstant ist [sie ist dargestellt in dem Beitrag „Die Kurzwellenausbreitung durch Reflexion an der Ionosphäre“ von H. Lange in RADIO UND FERNSEHEN Nr. 17 (1956)], läßt sie sich der Vorhersage zugrunde legen, sobald ihre typische durchschnittliche Form durch Beobachtungen auf der ganzen Erde genügend genau festgestellt ist.

Anders steht es dagegen mit einer bisher ebenfalls noch nicht erklärbaren übernormalen Ionisation im Niveau der E-Schicht, der sogenannten „sporadischen E-Ionisation“, die so stark werden kann,

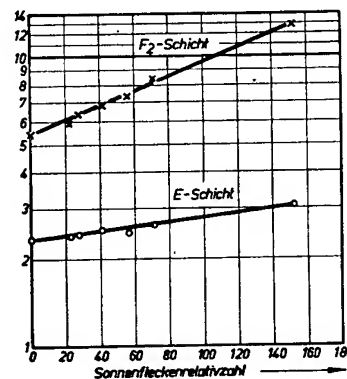


Bild 5: Abhängigkeit der Grenzfrequenzen (Mittagswerte im Januar-Monatsmittel) von der Sonnenaktivität (Monatsmittel der Sonnenfleckenrelativzahl) 1951 bis 1957

daß sehr hohe Frequenzen von ihr reflektiert werden. Den Amateuren sind solche Fälle durch den gelegentlichen Empfang sehr weit entfernter UKW- und Fernsehsender oder durch den „short skip“ auf höheren Kurzwellenbändern (z. B. 10-m-Band) bekannt. Wie ihr Name sagt, ist das Auftreten dieser Erscheinung sporadisch, d. h. zeitlich und örtlich begrenzt und völlig regellos, und entzieht sich daher der Vorhersage. Die Lösung dieses Problems gehört zu den wichtigsten Zukunftsaufgaben der Ionosphärenforschung.

#### Sonnenaktivität

Den regelmäßigen tages- und jahreszeitlichen Veränderungen der Ionisation und damit der Grenzfrequenzen überlagert sich noch eine andere Erscheinung, die in der Physik der Erde eine große Rolle

spielt, und zwar die Sonnenaktivität, die ihren sichtbaren Ausdruck in den Sonnenflecken findet. Die Häufigkeit der Sonnenflecken zeigt bekanntlich Schwankungen in Zyklen von durchschnittlich elf Jahren. Im gleichen Rhythmus finden sich auch systematische Änderungen der ionosphärischen Elektronendichten (Grenzfrequenzen), wobei hohen Sonnenfleckenzahlen auch höhere Grenzfrequenzen entsprechen (Bild 5). Diese Parallelität, deren große Bedeutung für die Funkprognose auf der Hand liegt, weist darauf hin, daß die Veränderungen auf der Sonne, die sich in der Sonnenfleckenhäufigkeit widerspiegeln, von entsprechenden Schwankungen der Ultraviolettstrahlung der Sonne begleitet sind. In ähnlicher Weise ist auch die Intensität der Radiostahlung der Sonne mit der Sonnenaktivität verknüpft (vgl. den Beitrag von F. Fürstenberg „Die Radiostahlung der Sonne“ auf Seite 364). Da der überwiegende Teil des ultravioletten Bereiches der Sonnenstrahlung nicht bis zur Erdoberfläche vordringt, sondern nur aus seiner ionisierenden Wirkung in der Ionosphäre erschlossen werden kann, liefern die Ionosphärenmessungen wichtiges Material für die Sonnenforschung. Das IGJ findet in einer Periode hoher Sonnenaktivität statt.

#### Ionosphärenstörungen

Eines der wichtigsten Arbeitsgebiete der Ionosphärenforschung, dem eine entscheidende Bedeutung für die Beratung des praktischen Funkverkehrs zukommt, sind die Störungen des Ionosphärenzustandes, deren Ursachen ebenfalls in der Sonne zu suchen sind. Zwei Typen sind hier im wesentlichen zu unterscheiden: die anhaltenden Störungen oder Ionosphärenstürme und der kurzzeitige Mögellinger-Effekt oder Totalschwund (Fade-out). Bei den anhaltenden (meist ein bis mehrere Tage dauernden) Ionosphärenstörungen wird die Elektronendichte der  $F_2$ -Schicht stark vermindert, in schweren Fällen diese Schicht sogar völlig zerstört, so daß die Übertragung durch Reflexion an dieser Schicht, auf der der Kurzwellenfunkverkehr hauptsächlich beruht, mehr oder weniger stark behindert wird. Ein eindrucksvolles Beispiel zeigt Bild 6, in dem die  $F_2$ -Grenzfrequenzen von drei Tagen im März dieses Jahres dargestellt sind. Gegenüber den normalen Tagesgängen am ersten und dritten Tag ist der zweite Tag stark gestört; praktisch ist die  $F_2$ -Schicht während des größten Teiles des Tages kaum noch als solche vorhanden.

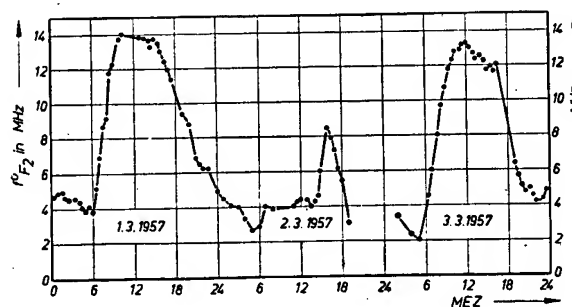


Bild 6: Tagesgänge der Grenzfrequenz der  $F_2$ -Schicht im März 1957 mit Ionosphärensturm (Juliusruh/Rügen)

Diese Ionosphärenstörungen kommen durch den Einbruch von Teilchen (Atomen, Elektronen oder Ionen) in die Atmosphäre zustande, die bei explosiven Vorgängen auf der Sonne ausgeschleudert worden sind. In einzelnen Fällen hat man den Ausbruch auf der Sonne unmittelbar im Fernrohr beobachten können, wobei die Teilchen nach einer Wanderung von 24 bis 36 Stunden die Erde erreichen und eine Ionosphärenstörung hervorriefen. Da solche eindeutigen Fälle jedoch sehr selten sind, stößt die rechtzeitige Vorhersage der Ionosphärenstörungen auf große Schwierigkeiten. Meistens sind die Ionosphärenstürme auch mit Störungen des Erdmagnetfeldes verbunden (siehe den folgenden Beitrag von H. Volland „Das Magnetfeld der Erde“).

Die Mögel-Dellinger-Effekte dauern zwar meistens nur kurze Zeit (im Durchschnitt etwa eine Viertel- bis halbe Stunde), führen dafür aber in vielen Fällen zu einem totalen Ausfall des gesamten Funkverkehrs während dieser Zeit. Bei diesen Effekten erzeugt ein plötzlicher Ausbruch ultravioletter Strahlung auf der Sonne eine mehrfach überhöhte Ionisation im D-Gebiet der Ionosphäre, wodurch die Dämpfung der Radiowellen so stark wird, daß die Reflexion an der Ionosphäre unterbunden ist. Gleichzeitig ermöglicht die erhöhte D-Ionisation eine kräftigere Reflexion von Längstwellen (Frequenzen von einigen kHz), wie sie von den Gewitterentladungen auf der Erde ausgesandt werden („Atmospherics“). So steigt mit dem Verschwinden der Kurzwellenfeldstärke die effektive Feldstärke der atmosphärischen Störungen auf Längstwellen an. Schließlich ist in vielen Fällen auch ein kurzer Ausschlag des Erdmagnetfeldes sichtbar.

Die Strahlungsausbrüche der Sonne, die zum Mögel-Dellinger-Effekt führen, sind im allgemeinen auch astronomisch als sogenannte chromosphärische Eruptionen sichtbar und in vielen Fällen mit Bursts (Strahlungsausbrüchen) der Radiostrahlung der Sonne verbunden. Ein Beispiel aus letzter Zeit ist im Bild 7 dargestellt. Dieser Mögel-Dellinger-Effekt vom 16. 4. 1957 gehört zu dem Strahlungsausbruch, der auch den Burst der Radiostrahlung hervorrief, der im Beitrag von F. Fürstenberg „Die Radiostrahlung der Sonne“ auf Seite 364 gezeigt ist.

Die vorstehenden Betrachtungen zeigen, daß die Erforschung der Ionosphärenstörungen — wie der ionosphärischen Veränderungen überhaupt —, vor allem mit dem Ziel einer rechtzeitigen Voraussage für den Funkverkehr, eine enge Zusammenarbeit zwischen Ionosphärenforschung und Sonnenphysik erfordert. Die gemeinsame Durchführung ionosphärischer und radioastronomischer Forschungen im Heinrich-Hertz-Institut ist darum als ein besonders erfolgversprechender Weg für die Förderung unserer Erkenntnisse zu betrachten.

#### Literatur

- K. Rawer, Die Ionosphäre, Groningen, 1953.  
O. Hachenberg, Sonnentätigkeit und Ausbreitung elektrischer Wellen in der Erdatmosphäre (Ges. z. Verbreit. wiss. Kenntnisse, Naturwissensch. Nr. 13), Leipzig/Jena, 1955.  
B. Beckmann, Die Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen, 2. Aufl. Leipzig, 1948.

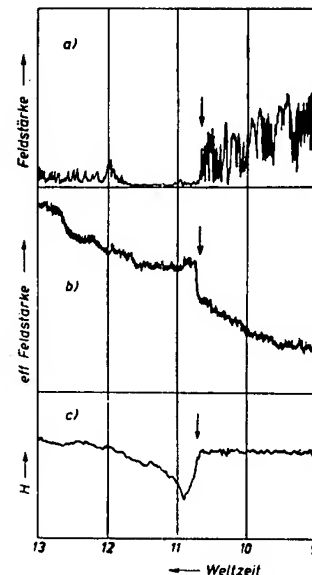


Bild 7: Mögel-Dellinger-Effekt infolge eines Strahlungsausbruches auf der Sonne am 16. April 1957:

a) Feldstärkeregistrierung eines Kurzwellensenders,

b) effektive Feldstärke der atmosphärischen Störungen auf 20 kHz,

c) Horizontalintensität des Erdmagnetfeldes (Registrierungen des Heinrich-Hertz-Institutes, Zeit läuft von rechts nach links!)

HANS VOLLAND

## Das Magnetfeld der Erde

### Einleitung

Jeder, der einen Kompaß in die Hand nimmt, kann feststellen, daß wir an der Erdoberfläche von magnetischen Feldern umgeben sind, welche die Magnetnadel in die ungefähre Nord-Süd-Richtung zwingen. Es ist seit langem bekannt, daß sich die Erdkugel wie ein riesiger Magnet verhält, dessen magnetische Pole in der Nähe der geographischen Pole gelegen sind. Da der Pol der Kompaßmagnetnadel, der nach Norden zeigt, verabredungsgemäß Nordpol genannt wird, muß der magnetische Pol der Erde, der im Norden liegt, ein magnetischer Südpol sein. Den Winkel, den die Achse der Kompaßnadel mit der geographischen Nordrichtung einschließt, nennt man bekanntlich magnetische Mißweisung oder Deklination. Dieser Winkel ist nicht konstant, sondern ändert sich von Ort zu Ort und im Laufe der Jahre ganz beträchtlich. Beispielsweise hat sich die Deklination in Berlin in den Jahren von 1900 bis 1950 von 10° West auf 3° West geändert.

Neben solchen langsamen Änderungen des erdmagnetischen Feldes gibt es aber auch geringe tägliche periodische Änderungen und plötzliche unperiodische Störungen, die von der Kompaßnadel wegen ihrer geringen Empfindlichkeit nicht mehr angezeigt werden. Heute weiß man, daß diese

kurzzeitigen Änderungen im Erdmagnetfeld von elektrischen Stromsystemen verursacht werden, die in dem „Ionosphäre“ genannten Teil der Hochatmosphäre fließen. Da diese aber durch die Sonneneinstrahlung beeinflusst wird, erweisen sich die Variationen des Erdmagnetfeldes als empfindlicher Indikator für die Vorgänge in der Ionosphäre und auf der Sonne. Deshalb bilden erdmagnetische Untersuchungen einen wichtigen Bestandteil der Ionosphärenforschung. Die Tatsache, daß die Ursachen des Erdmagnetismus sowohl innerhalb als auch außerhalb der Erdoberfläche zu suchen sind, macht verständlich, daß erdmagnetische Untersuchungen einen bedeutenden Anteil an dem Aufgabenkomplex des Internationalen Geophysikalischen Jahres bilden.

### Meßmethoden

Die erdmagnetische Feldstärke ist eine gerichtete Größe, ein Vektor, der durch die Ermittlung von drei Komponenten eindeutig bestimmbar ist. Es ist heute üblich, die Horizontalkomponente H, die Vertikalkomponente Z und die Deklination D oder die Inklination I des erdmagnetischen Feldes zu messen (siehe Bild 1). Die bei den Erdmagnetikern gebräuchliche Einheit der magnetischen

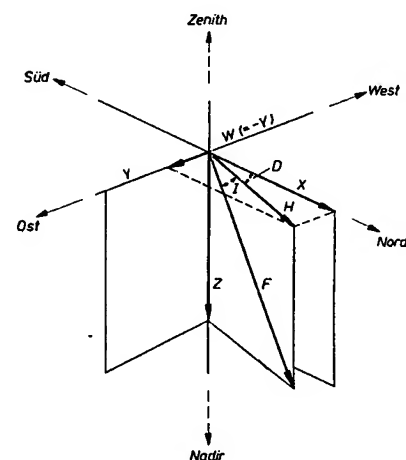


Bild 1: Komponenten des Vektors der erdmagnetischen Feldstärke

- F = totale Intensität,  
H = Horizontalkomponente,  
X = Nordkomponente,  
Y = Ostkomponente,  
Z = Vertikalkomponente,  
D = Deklination,  
I = Inklination,  
W = Westkomponente



Feldstärke ist  $1 \gamma = 10^{-5}$  Oersted. Für das in der Umgebung Berlins gelegene erdmagnetische Observatorium in Niemegk galten für 1956 die Daten:

$$H = 18450 \gamma, \quad Z = 43950 \gamma, \\ D = 2^\circ 15' W, \quad I = 67^\circ 15'.$$

Die an den erdmagnetischen Observatorien durchgeführten Messungen unterscheiden sich in Absolut- und Relativmessungen. Beide Messungen bedingen sich gegenseitig.

Bei der Absolutmessung kommt es darauf an, die absolute Größe einer Komponente zu einem bestimmten Zeitpunkt zu messen. Solche Messungen werden im allgemeinen für jede Komponente in regelmäßigen Abständen von einigen Tagen durchgeführt. Aus ihnen ersieht man die zeitlich langsamen Änderungen des Erdmagnetfeldes (die sogenannten Säkularvariationen).

Relativmessungen sind laufende Registrierungen der kurzperiodischen Variationen der einzelnen Komponenten.

Da infolge der beträchtlichen Genauigkeitsanforderungen (es wird eine Genauigkeit von  $1 \gamma$  angestrebt) eine Absolutgröße als Durchschnittswert einer sich bis zu einer Stunde erstreckenden Meßreihe ermittelt wird, muß jeder einzelne Meßwert von den in dieser Zeit erfolgten kurzperiodischen Variationen befreit werden. Die Relativmessungen dienen dazu, die Absolutmeßwerte auf einen Bezugswert, den sogenannten Basiswert, zu reduzieren. Andererseits ist der Basiswert eine notwendige Kenngröße für die Relativmessungen.

Das Meßprinzip der Absolutbestimmung von  $D$  entspricht dem des Kompasses.

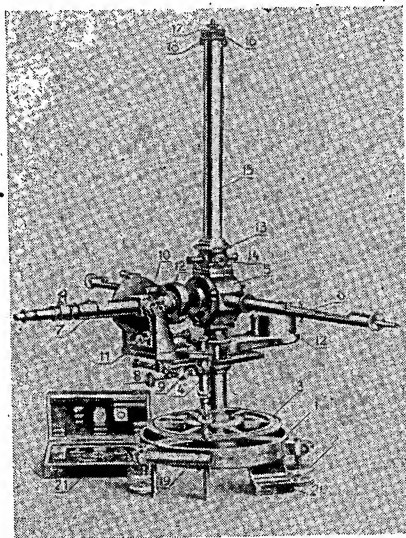


Bild 2: Magnetischer Theodolit

1. Stativ, 2. Fußschrauben, 3. Kreisteilung, 4. Ablesemikroskop, 5. Magnetgehäuse, 6. Ablenkungsmagnet auf dem Ablenkungsarm, 7. Fernrohr, 8. und 9. Arretierung und Feinjustierschraube für die Bewegung um die Vertikalachse, 10. und 11. Arretierung und Feinjustierschraube für das Fernrohr, 12. Gegengewichte, 13. und 14. Arretierungsvorrichtung für die Magnetnadel, 15. Suspensionsrohr, 16., 17. und 18. Torsionskopf mit Skala und Justiereinrichtung, 19. Libelle, 20. Magnetkasten, 21. Kasten für Magnetnadel

Ein Stabmagnet wird an einem Metallfaden horizontal und torsionslos aufgehängt, und es wird der Winkel zwischen einer bekannten geographischen Richtung und der Richtung der magnetischen Achse des Stabmagneten bestimmt. Bild 2 zeigt einen magnetischen Theodoliten zur Bestimmung von  $D$ .

Zur Ermittlung von  $H$  sind zwei unabhängige Messungen notwendig:

Bei der Ablenkungsmessung nach der Lamontschen Methode wird auf einen der seitlichen Arme des Theodoliten nach Bild 2 ein starker Stabmagnet gelegt und der Arm des Theodoliten so weit gedreht, bis die Nadel senkrecht auf der Achsen-

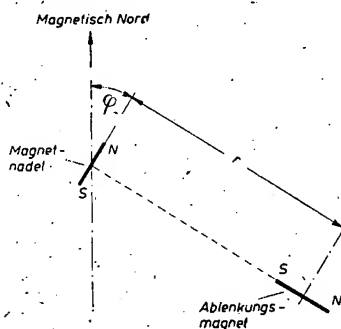


Bild 3: Ablenkungsmessung nach der Lamontschen Methode

richtung des Ablenkungsmagneten steht (s. Bild 3). Jetzt wirken auf die Nadel zwei Drehmomente: das Drehmoment des homogenen Erdmagnetfeldes und das Moment des Ablenkungsmagneten. Im Gleichgewichtszustand gilt:

$$m \cdot H \cdot \sin \varphi = \frac{2 \cdot m \cdot M \cdot k}{r^3}$$

Hier bedeuten:

$m$ , das magnetische Moment der Nadel,  
 $M$  das magnetische Moment des Ablenkungsmagneten,  
 $r$  den Abstand beider Magneten voneinander,  
 $k$  eine Korrekturgröße, die von eins nicht sehr verschieden ist.

Bei bekanntem  $r$  und  $\varphi$  ist aus dieser Messung die Größe  $\frac{M}{H}$  bestimmbar.

Bei der Schwingungsmessung wird der gleiche Ablenkungsmagnet horizontal und torsionslos aufgehängt und in Schwingungen versetzt. Die Eigenschwingungsdauer des Magneten im Erdmagnetfeld ist:

$$T = 2 \pi \cdot \sqrt{\frac{J}{M \cdot H}}$$

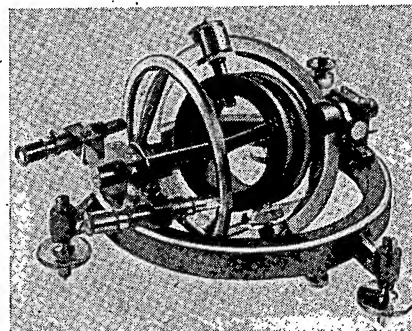


Bild 4: Erdinduktor

( $J$  ist das mechanische Trägheitsmoment des Magneten).

Aus der Messung von  $T$  ist also bei bekanntem  $J$  die Größe  $M \cdot H$  bestimmbar. Aus beiden Messungen lassen sich jetzt  $M$  und  $H$  eliminieren.

Die Inklination  $I$  mißt man mit Hilfe des Erdinduktors (Bild 4). Ein Erdinduktor besteht aus einer kreisförmigen Spule mit vielen Windungen. Diese läßt man schnell um eine Durchmesserachse rotieren. Die Achse selbst wird von einer ringförmigen Aufhängevorrichtung getragen, die um einen beliebigen meßbaren Winkel gedreht werden kann. Solange die Achse nicht parallel zur Richtung des Erdmagnetfeldes liegt, wird in der rotierenden Spule eine Wechselspannung induziert werden, die durch ein empfindliches Galvanometer zur Anzeige gebracht werden kann. Die Aufhängevorrichtung wird nun bei rotierender Spule so lange gedreht, bis das Galvanometer keinen Strom mehr anzeigt. Dann liegt die Spulenachse parallel zum Erdmagnetfeld, und der Winkel, den die Aufhängevorrichtung mit der Horizontalen einschließt, ist die gesuchte Inklination.

Diese Meßmethoden, obgleich im Prinzip sehr einfach, bedürfen einer außerordentlichen Sorgfalt und erfordern noch mannigfache Korrekturen, wenn sie die Genauigkeitsansprüche von  $1 \gamma$  bzw.  $0,1'$  erfüllen sollen.

Die erdmagnetischen Variometer für die Relativmessungen entsprechen dem Theodoliten des Bildes 2. Im Bild 5 ist ein Variometersystem für  $H$ ,  $D$  und  $Z$  mit Registrieranlage dargestellt. Ein Lichtstrahl wird von einem an der Magnetnadel fest angebrachten Spiegel reflektiert und auf eine mit Fotopapier belegte Walze geworfen. Die Änderung des Erdmagnetfeldes ist mit einer Änderung der Richtung der Magnetnadel verbunden, die vom Lichtstrahl aufgezeichnet wird.

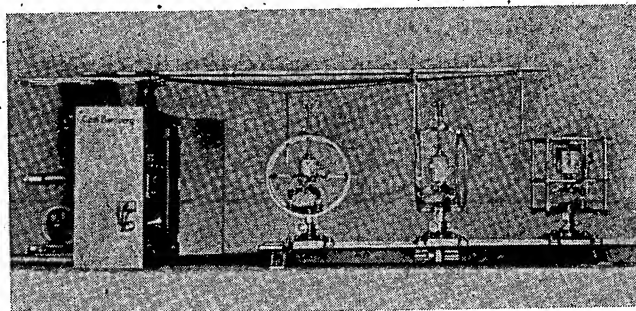


Bild 5: Variometeranlage für  $H$ ,  $D$  und  $Z$  des Observatoriums Niemegk

Während für die Messung von D die Magnetonadel torsionslos aufgehängt wird, muß bei der Messung von H die Achse der Magnetonadel durch Torsion des Aufhängefadens senkrecht zu H ausgerichtet werden. Entsprechendes gilt für die Messung von Z. Die im Bild 5 an den Theodoliten angebrachten Helmholtzspulen dienen zur Empfindlichkeitseichung der Anlage.

Eine von diesen Variometern aufgezeichnete Registrierung zeigt Bild 9.

Bei Relativmessungen erreicht man Empfindlichkeiten bis zu 0,1 %.

Nach einem Meßprinzip ganz anderer Art arbeitet die Förstersonde. Eine Zylinder- spule mit zwei Wicklungen und einem hochpermeablen Eisenkern (z. B. Permalloy) wird primärseitig mit niederfrequentem Wechselstrom beschickt. Falls der Kern nicht durch ein äußeres Magnetfeld aufmagnetisiert ist, besteht die sekundärseitig induzierte Spannung nur aus ungeraden Harmonischen der Grundwelle. Liegt jedoch parallel zum Eisenkern ein schwaches Magnetfeld, so tauchen sekundärseitig auch gerade Harmonische auf. Die Amplitude der zweiten geraden Harmonischen ist in einem begrenzten Bereich direkt proportional dem angelegten Magnetfeld. Durch eine geeignete Zusammenschaltung zweier Spulen lassen sich die ungeraden Harmonischen sekundärseitig kompensieren, so daß nach selektiver Verstärkung und Gleichrichtung der ersten Oberwelle eine der zu messenden Magnetfeldkomponente äquivalente Meßspannung gewonnen worden ist.

Die Förstersonde ist den klassischen Methoden durch ihre um fast eine Größenordnung größere Empfindlichkeit und durch ihre Trägheitslosigkeit bei der Registrierung sehr schneller Schwankungen des Erdmagnetfeldes — den sogenannten Mikropulsationen — überlegen, reicht jedoch an Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit nicht an die alten Methoden heran.

Eine andere Methode der Registrierung schneller Pulsationen beruht auf dem Prinzip des Erdinduktors. Eine Spule mit großer Querschnittsfläche und vielen Windungen wird fest im Raum aufgestellt und an ein Galvanometer angeschlossen. Die zeitliche Änderung des magnetischen Flusses durch die Windungsfläche infolge der Mikropulsationen induziert in der Spule elektrische Ströme, die durch das Galvanometer angezeigt werden können.

In neuerer Zeit beginnt sich ein magnetisches Meßverfahren durchzusetzen, das unter dem Namen „Magnetische Kernresonanz“ bekannt ist.

Ein Atomkern besitzt ein magnetisches Moment  $\mathfrak{M}$  und einen mechanischen Drehimpuls  $I$ . Der Quotient dieser beiden

Größen  $\frac{\mathfrak{M}}{I}$  wird gyromagnetisches Ver-

hältnis  $\gamma$  genannt. In einem äußeren vorgegebenen Magnetfeld  $H$  sind die Kernmomente nur diskreter (gequantelter) Orientierungen fähig. Die Änderung des gequantelten Zustandes eines Atomkernes ist nur möglich durch Aufnahme einer diskreten Energie, der sogenannten Umklappenergie. Diese wird z. B. durch ein

Hochfrequenzfeld der bestimmten Frequenz  $f$  geliefert, und es gilt die Beziehung:

$$\frac{f}{H} \approx \gamma.$$

Es werden nun Wasserstoffkerne (Protonen) in ein die Ausrichtung der Kernmomente verursachendes homogenes Magnetfeld gebracht und senkrecht zu diesem das die Umklappvorgänge bewirkende Hochfrequenzfeld erzeugt. Wird die Frequenz kontinuierlich variiert, dann sind die bei der Resonanzfrequenz  $f$  erfolgenden Umklappvorgänge mit einer starken Energieentnahme aus dem Hochfrequenzfeld verbunden, und der Hochfrequenzkreis wird dadurch stark gedämpft.

Da das gyromagnetische Verhältnis der Protonen sehr genau bekannt ist, kann man umgekehrt durch eine Frequenzmessung ein unbekanntes Magnetfeld messen. Die Anwendung dieser Methode auf die Messung des Erdmagnetfeldes wird erschwert durch die Tatsache, daß zur Erzielung meßbarer Signalspannungen das angelegte Magnetfeld viel größer als das Erdmagnetfeld sein muß. Es sind jedoch Methoden entwickelt worden, die diese Schwierigkeiten umgehen und deren Genauigkeit an die der klassischen Methoden heranreicht.

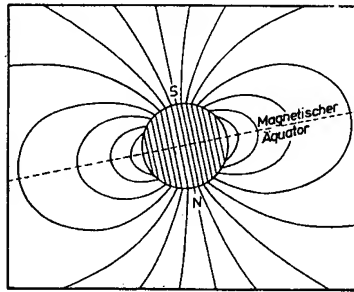


Bild 6: Magnetfeldlinien einer homogen aufmagnetisierten Kugel

#### Das Innenfeld der Erde

Das Erdmagnetfeld an der Erdoberfläche stammt zu mehr als 99% aus dem Erdinneren. Der Erdmagnet verhält sich außerhalb des Erdinneren in erster Näherung wie eine homogen aufmagnetisierte Kugel (s. Bild 6.) Das Erdmagnetfeld läßt sich auch durch das Feld eines im Erdmittelpunkt gelegenen Dipols beschreiben. Das magnetische Moment solch eines Dipols betrug im Jahre 1945  $8,06 \cdot 10^{25}$  Gauß  $\cdot$  cm<sup>3</sup>. Seine Achse durchstieß 1945 die Erdoberfläche mit dem süd magnetischen Ende im nördlichen Grönland bei 78,6° N, 70,1° W. Die Achse ist also gegenüber der geographischen Achse um 11,4° geneigt. Es ist bemerkenswert, daß die Punkte, an denen die Magnetonadel senkrecht steht, nicht mit den Durchstoßpunkten des Dipols übereinstimmen. Diese lagen 1945 bei 72,8° N; 98,0° W und 68,2° S; 215,0° W. Sie sind also nicht ganz antipodisch zueinander.

Das Magnetfeld an der Erdoberfläche weicht in Gebieten von der Größe eines

Kontinents ganz beträchtlich von dem idealen Dipolfeld ab. Solche sogenannten regionalen Anomalien ändern ihre Lage im Laufe von Jahrzehnten. Man spricht dann von Säkularvariationen des Erdmagnetfeldes. Heute hat es den Anschein, als ob diese Anomalien vorzugsweise westwärts driften. Die Änderung des Deklinationswertes in Berlin im Verlauf der letzten 50 Jahre, die in der Einleitung erwähnt wurde, beruht auf solch einer Driftbewegung.

Die regionalen Anomalien hängen offensichtlich mit dem Erzeugungsvorgang des Erdinnenfeldes zusammen. Die Ursachen des Hauptanteiles des Erdmagnetfeldes sind noch weitgehend unerforscht.

Eine moderne Hypothese vom Ursprung des Erdmagnetfeldes geht von der Voraussetzung aus, daß sich der Erdkern in einem flüssigen metallischen Zustand befindet und von einer festen Gesteinskruste umgeben ist. (Diese Vorstellung beruht auf seismischen Untersuchungen des Erdinneren.) Im Erdkern können sich nun Flüssigkeitsströme ausbilden (etwa infolge lokaler Wärmeproduktion, die durch Radioaktivität verursacht wird). Da unter dem Einfluß der im Erdinneren herrschenden enorm großen Wärme und Druckes die Atome ionisiert sind, ist solch eine Flüssigkeitsbewegung gleichbedeutend mit dem Transport von elektrischen Ladungen. Es fließen also auch elektrische Ströme. Diese besitzen Magnetfelder, die ihrerseits wieder elektrische Ströme induzieren. Durch solche gegenseitige Wechselwirkung elektrodynamischer und hydrodynamischer Kräfte von der Art eines sich selbst erregenden Dynamos wird im Endzustand das Erdmagnetfeld aufgebaut. Durch verschiedene Rotationsgeschwindigkeit von Kern und Mantel kann man sich die Säkularvariationen erklären.

Die Polarität des auf diese Weise zustande gekommenen Dipolmagnetfeldes ist von der Umdrehungsrichtung der Erde unabhängig. Deshalb kann man sich vorstellen, daß sich im Laufe der Zeit die Polarität des Erdmagnetfeldes umkehren könnte. Tatsächlich glaubt man, aus Untersuchungen der Aufmagnetisierungsrichtung erstarrter Lava und alter Gefäße aus gebranntem Ton auf eine entgegengesetzte Polarität des Erdmagnetfeldes vor einigen tausend Jahren schließen zu können.

Neben den regionalen Anomalien gibt es noch lokal begrenzte Anomalien, die ihren Ursprung in magnetisierbarem Gestein in der Erdkruste haben. Die bekannteste Anomalie dieser Art wurde bei Kursk, einem Ort 400 km südlich von Moskau, gefunden. Dort befindet sich wenige 100 m unter der Erdoberfläche ein schmaler Streifen magnetithaltigen Gesteins mit 40% Eisenbeimengung. Die Vertikalkomponente des Erdmagnetfeldes über dieser Störzone ist bis fünfmal so groß wie der Normalwert in der Umgebung der Störung.

Untersuchungen solcher lokalen Anomalien erweisen sich heute als wertvolle Stütze bei der Erforschung von Bodenschlagstätten.

### Der äußere Anteil des Erdmagnetfeldes

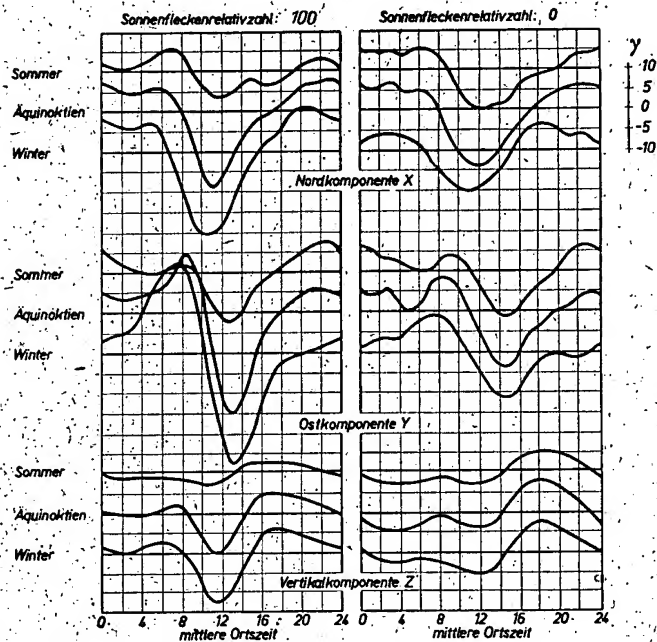
Viel besser bekannt ist das restliche 1% des Erdmagnetfeldes, das seinen Ursprung außerhalb des Erdinneren hat. Es wird durch elektrische Stromsysteme verursacht, die in der Ionosphäre fließen. Ionosphäre nennt man die Atmosphärenschicht oberhalb 80 km Höhe<sup>1)</sup>. Dort sind durch die Einstrahlung der Sonne die Luftmoleküle ionisiert. Außerdem erfolgt aber auch noch eine vom Sonnenstand abhängige Erwärmung der oberen Luftschichten. Dadurch entstehen Luftdruckunterschiede und damit periodische Windsysteme in der Ionosphäre. Die gleiche Erscheinung ist auch am Erdboden vorhanden. Die Ausbreitung regelmäßiger Windsysteme wird dort allerdings durch die turbulenten Vorgänge in der Troposphäre verhindert.

Der Transport der Luft innerhalb der Windsysteme ist infolge der Ionisation verbunden mit einer Bewegung elektrischer Ladungen. Da diese Bewegung im konstanten Magnetfeld der Erde erfolgt, werden elektromotorische Kräfte induziert, die dann die Ausbildung elektrischer Stromsysteme herbeiführen. Aus der Ähnlichkeit mit der Induktion von Strömen in den Spulen eines Dynamos mit Permanentmagnet ist der Name „Dynamothorie“ für diese Vorstellung entstanden. Diese elektrischen Ströme fließen in erster Linie in der E-Schicht in 100 km Höhe. Das ist zunächst erstaunlich; da die in 300 km Höhe gelegene F-Schicht eine bedeutend größere Elektronendichte als die E-Schicht aufweist. Für die Ausbildung der Ströme ist jedoch nicht die elektrische Ladungsdichte, sondern vielmehr die Leitfähigkeit verantwortlich, und diese ist nicht nur von der Ladungsdichte, sondern auch von der Luftdichte abhängig. Mit zunehmender Höhe nimmt aber die Luftdichte und auch die Leitfähigkeit ab.

Die Leitfähigkeit der gesamten Ionosphäre ist übrigens nicht größer als die Leitfähigkeit einer Kugelschale aus Kupferblech von 1/1000 mm Dicke.

Der enge Zusammenhang mit der Sonneneinstrahlung bewirkt natürlich, daß sich diese Stromsysteme mit der Jahreszeit und mit der Sonnenfleckenzahl ändern. Bild 7 stellt ein solches ionosphärisches Stromsystem während der Äquinoktien und während eines Sonnenfleckenzahlminimums dar. Man muß sich vor-

Bild 8: Die sonnentäglichen Variationen von X, Y und Z in Potsdam für Sonnenfleckenzahl Null (rechts) und 100 (links) während der verschiedenen Jahreszeiten (nach A. Schmidt)



stellen, daß dieses System, als Kugelschale um die Erde gelegt, fest mit der Sonne verbunden ist und die Erde sich darunter hinwiegend. Im Sonnenfleckenzahlmaximum steigt die Stromintensität an. Im Sommer dehnt sich der nördliche Wirbel nach Süden aus.

Das Magnetfeld dieser Stromsysteme induziert im leitenden Erdinneren wiederum Ströme, deren Magnetfelder sich den äußeren Magnetfeldern überlagern. Die am Erdboden registrierten, von Außen- und Innenanteil der Ströme herrührenden sogenannten sonnentäglichen erdmagnetischen Variationen zeigt Bild 8 für das Observatorium Potsdam für verschiedene Jahreszeiten und Sonnenfleckenzahlen.

Auch der Mond macht sich durch seine Gezeitenwirkung auf die Hochatmosphäre in analoger Weise erdmagnetisch bemerkbar. Allerdings ist dieser Anteil wegen seiner Kleinheit nur schwer von den sonnentäglichen Variationen zu trennen.

Strahlt die Sonne bei einer Sonneneruption kurzzeitig stärker als normal, so führt die zusätzliche Ionisation der D-Schicht zu dem bekannten Mögel-Dellinger-Effekt, während in der E-Schicht das elektrische Stromsystem verstärkt wird

und sich im Magnetfeld ein kurzer Haken bemerkbar macht (s. Bild 7 auf S. 383).

Der umgekehrte Fall tritt bei einer Sonnenfinsternis ein. Hier tritt der Mond zwischen Sonne und Erde und verhindert in seinem Schattenbereich die Aufladung der Ionosphäre. Das elektrische Stromsystem und damit sein Magnetfeld werden auf diese Weise im Bereich des Mondschattens geschwächt (Bild 9).

### Erdmagnetische Störungen

Die eben beschriebenen sonnentäglichen erdmagnetischen Variationen sind nur an wenigen Tagen auf den Registrierungen deutlich ausgeprägt sichtbar. Normalerweise zeigen die Registrierungen einen unregelmäßigen gestörten Verlauf. Die sonnentäglichen Variationen lassen sich daraus nur durch Mittelbildung über mehrere Tage eliminieren.

Die Registrierung einer starken erdmagnetischen Störung zeigt Bild 10. Die Ursache eines solchen Sturmes ist wieder in der Sonnentätigkeit zu suchen. Bei einer Sonneneruption werden von einem begrenzten Störungsherd aus zusätzliche Wellenstrahlung und in nahezu radialer Richtung auch Partikel — Ionen und Elektronen — ausgestrahlt. Die Wellenstrahlung erreicht die Erde mit Lichtgeschwindigkeit und führt zu dem bereits erwähnten Mögel-Dellinger-Effekt. Die viel langsamere Partikelstrahlung breitet sich mit Geschwindigkeiten der Größenordnung von 1000 km/s aus und erreicht die Erdbahn erst etwa einen Tag später. Befindet sich nun die Erde gerade in der Ausbreitungsrichtung des Partikelstromes, dann werden die elektrisch geladenen Korpuskeln durch das Magnetfeld der Erde schon im Abstand von etwa 100 Erdradien beeinflusst. Es entstehen in der Stirnfläche des Partikelstromes induzierte Ströme, die sich auf der Erde als kurzzeitige Verstärkung der Horizontalkom-

<sup>1)</sup> Näheres darüber im Beitrag von J. Taubenheim: „Die Ionosphäre“ auf Seite 380.

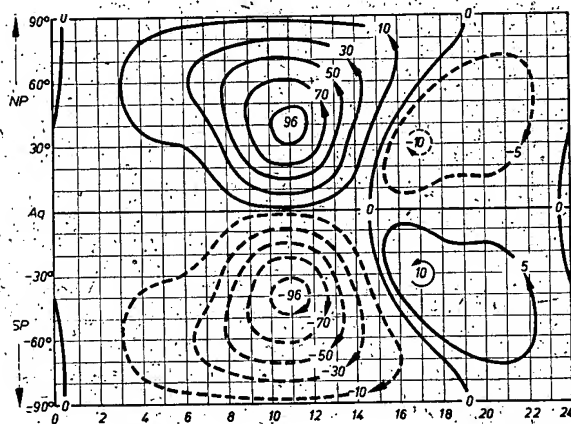


Bild 7: Ionosphärisches Stromsystem während der Äquinoktien und während eines Sonnenfleckenzahlminimums, das die sonnentäglichen erdmagnetischen Variationen erzeugt (nach J. Bartels)

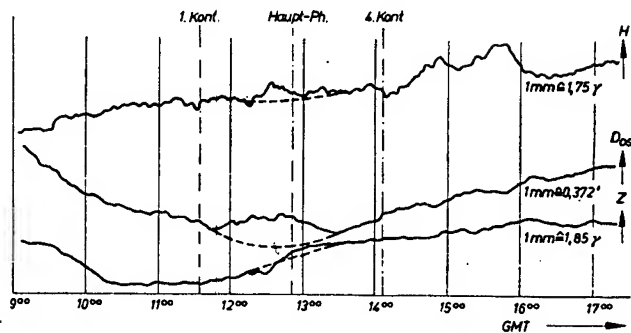
ponente des Erdmagnetfeldes bemerkbar machen (sc im Bild 10). Die Korpuskeln können die Erde nicht direkt erreichen, sondern werden im Erdmagnetfeld abgelenkt und um die Erde herumgeführt. Gleichzeitig erfolgt eine Ladungstrennung, wodurch die Nachmittagsseite der Erde negativ, die Vormittagsseite positiv aufgeladen wird. Durch das dadurch entstehende Feld bildet sich ein in der Äquatorebene fließender Ringstrom in 5,5 Erdradien Abstand und mit einem Durchmesser von etwa zwei Erdradien aus. Das Magnetfeld dieses Ringstromes schwächt an der Erdoberfläche die Horizontalkomponente, und zwar am Äquator stärker als in hohen Breiten.

In den lokalen Feldern dieses Ringstromes endlich werden die Korpuskeln beschleunigt und erreichen auf Spiralbahnen längs der Feldlinien des Erdmagneteten die obere Atmosphäre in den Polarlichtzonen in etwa 65° nördlicher und südlicher Breite. Dort ionisieren sie in ungefähr 100 km Höhe die Luftmoleküle und regen sie zum Leuchten an. Außerdem bildet sich längs der Polarlichtzonen ein starker elektrischer Strom, der auf der Nordhalbkugel vormittags von West nach Ost und nachmittags von Ost nach West fließt und der Stärken bis zu 1 Million Ampere erreichen kann.

Die zusätzliche Ionisation durch die Korpuskeln und die damit verbundene Änderung der Schichtstruktur der Ionosphäre führen dazu, daß auch die weitere Umgebung der Polarlichtzonen in die Störung mit einbegriffen wird. Es entstehen dort turbulente Strömungen, die sich auf der Registrierung des Bildes 10 in der Hauptphase des Sturmes magnetisch bemerkbar machen.

Bei extrem starken Stürmen dringt die Polarlichtzone bis in unsere Breiten vor, wie dies am 21. 1. 1957 der Fall gewesen ist. Da innerhalb der Polarlichtzone fast täglich Polarlichter sichtbar sind, trifft also eine mehr oder weniger starke Korpuskelstrahlung beständig die Erdatmosphäre. Deshalb ist — in der Polarlichtzone besonders, in niederen Breiten weniger stark — das Erdmagnetfeld fast immer gestört.

Bild 9: Ausschnitt aus der Registrierung des Observatoriums Niemegk während der Sonnenfinsternis am 30. 6. 54. Die gestrichelten Linien zeigen den wahrscheinlichen ungestörten Verlauf (GMT = Mittlere Greenwich-Zeit = Weltzeit)



Die Tatsache, daß das Herannahen des Partikelstromes im Erdmagnetfeld schon einige Stunden früher bemerkbar ist als in der Ionosphäre, macht eine rechtzeitige Warnung der Funkstellen vor Ionosphärenstörungen möglich.

Stärkere magnetische Störungen haben die Neigung, nach 27 Tagen wiederzukehren. Das liegt daran, daß die Erde nach einer vollständigen Sonnenrotation von 27 Tagen wieder in den Bereich eines langlebigen aktiven Störungsherdes der Sonne gelangen kann.

Die Häufigkeit der erdmagnetischen Störungen nimmt mit wachsender Sonnenfleckenrelativzahl zu. Daraus folgt, daß zwischen den Störungsherden und den Sonnenflecken ein enger Zusammenhang bestehen muß.

Eine typische kleinere Störung ist die „Bai“. Darunter versteht man eine plötzliche stärkere Ausbuchtung in den Registrierungen der Magnetfeldkomponenten. Die Bai ist eine Störung, die von Korpuskularstrahlung verursacht wird, die nur einen Teil der Erde trifft und dort zur Ausbildung lokaler wandernder Stromwirbel in der Ionosphäre Anlaß gibt. Die Untersuchung des im Erdinneren induzierten Anteils der Magnetfeldkomponenten einer Bai eignet sich besonders gut zur Bestimmung von Inhomogenitäten der Leitfähigkeit in der Erdkruste. So hat man z. B. aus dem Verhalten der Vertikalkomponente von Baistörungen, die an den beiden erdmagnetischen Observatorien Niemegk (bei Berlin) und Wingst (bei Cuxhaven) ein entgegengesetztes Verhalten zeigt, auf eine sich durch Norddeutschland erstreckende Zone erhöhter Leitfähigkeit in 100 km Tiefe geschlossen.

Mikropulsationen, auch Elementarwellen genannt, sind periodische Feldschwankungen mit Perioden von wenigen Sekunden bis zu einigen Minuten und Amplituden von einigen  $\gamma$  (Bild 11). Einige treten auf der ganzen Erde gleichzeitig, gewöhnlich in ganzen Gruppen, mit typischen Schwebungsformen auf. Ihre Ursachen sind noch weitgehend unerforscht. Man vermutet, daß es sich um periodische Störungen der Ionosphäre oder des äquatorialen Ringstromes handelt.

Der Hauptteil der durch die Magnetfelder der äußeren Stromsysteme im Erdinneren induzierten Ströme fließt in etwa 300 bis 1000 km Tiefe. Die Leitfähigkeit in diesen Tiefen ist ungefähr  $10^8$  mal kleiner als die von Kupfer. Die Eindringtiefe hängt ähnlich wie beim Skinneffekt von der Frequenz der magnetischen Störung ab. Oberhalb 300 km Tiefe ist die Leitfähigkeit — abgesehen von lokalen Zonen erhöhter Leitfähigkeit — um eine Größenordnung kleiner. Die an der Erdoberfläche induzierten Spannungen sind jedoch meßbar und zeigen einen genauen parallelen Gang mit den zeitlichen Änderungen des Erdmagnetfeldes.

Bei raschen Änderungen des Erdmagnetfeldes während eines starken Sturmes können elektrische Spannungen induziert werden, die Größen von über 1 V/km annehmen können. Die unter diesen Umständen in Kabeln und Telefonleitungen

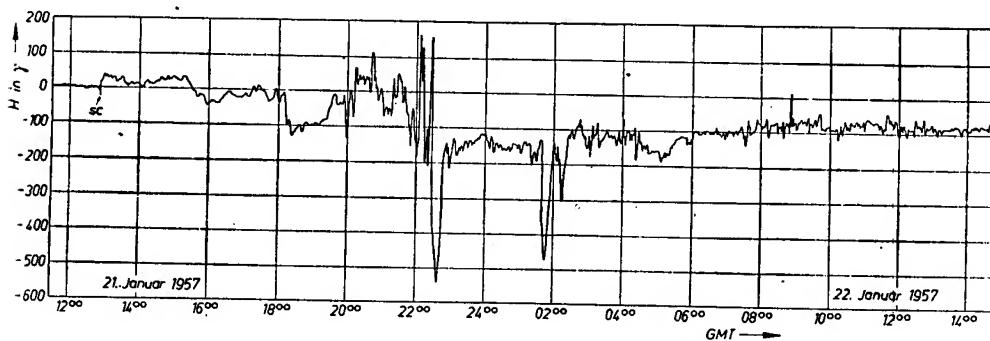


Bild 10: Registrierung der H-Komponente in Juliusruh/Rügen am 21./22. 1. 57 während eines starken magnetischen Sturmes

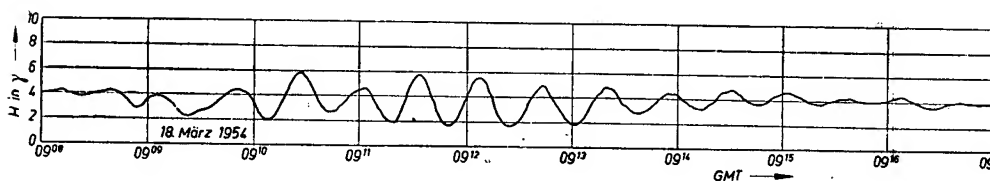


Bild 11: Registrierung von Mikropulsationen mit einer Förstersonde in Neustrelitz am 18. 3. 54



fließenden Ausgleichströme können dann Dimensionen annehmen, die jeglichen Telefonverkehr unmöglich machen.

#### Schlußbemerkung

Wie wir gesehen haben, ist die Untersuchung des Erdmagnetfeldes nicht nur von wissenschaftlichem Interesse für die Erforschung des Erdinneren und der Sonne, sondern sie gewinnt auch eine unmittelbare praktische Bedeutung bei der Suche nach Erzlagerstätten und liefert einen entscheidenden Beitrag bei der Untersuchung der Ionosphäre, die für die

Ausbreitungsvorgänge der Radiowellen so wichtig ist. Da die einzelnen Bestandteile des Erdmagnetfeldes fast ausschließlich die Sekundärercheinungen mehr oder weniger weltweiter elektrischer Stromsysteme sind, ist für eine erfolgreiche Untersuchung eine internationale Zusammenarbeit, wie wohl kaum bei einem anderen Forschungsgebiet, von entscheidender Bedeutung.

Die ungleichmäßige Verteilung der erdmagnetischen Observatorien, die sich naturgemäß in den dichtbesiedelten Gebieten der Erde häufen, soll während des

Internationalen Geophysikalischen Jahres durch Aufstellung von transportablen Meßstationen an den verschiedensten Punkten der Erde soweit wie möglich gemildert werden. Das auf diese Weise entstehende dichte Netz von Beobachtungsstationen wird zweifellos zu wertvollen neuen Erkenntnissen über das Erdmagnetfeld beitragen.

#### Literatur

S. Chapman, J. Bartels, „Geomagnetism“, Oxford, 1940.

HELMUT STADLMANN

## Aufbau und Wirkungsweise eines Durchdrehenders

Impulssender mit kontinuierlich durchstimmbarer Frequenz, gekoppelt mit einer Empfangsanlage, werden in der Fachsprache allgemein als Durchdrehender bezeichnet und gehören heute zu der Standardausrüstung einer Ionosphärenstation. Auch die Station des Heinrich-Hertz-Instituts in Juliusruh ist neben anderem mit einem solchen Gerät ausgerüstet. Der Sender weicht in verschiedenen Punkten von den bisher beschriebenen Geräten dieser Art ab und enthält einige Neuerungen.

Die Aufgabe der Anlage besteht darin, die Reflexionshöhe der von dem Sender ausgehenden Impulse in Abhängigkeit von der Frequenz mit genauer Höhen- und Frequenzskala zu registrieren. Bild 1 zeigt die Antennenanlage, Bild 2 den Durchdrehender.

#### Prinzip der Anlage

Eine Impulssendeanlage (Bild 3), die kontinuierlich ihre Sendefrequenz von 0,5 bis

20 MHz ändert, strahlt Hochfrequenzimpulse mit der Impulsfolgefrequenz 50 Hz und der Impulsdauer von  $10^{-4}$  Sekunden über ein Breitbandantennensystem ab. Eine zum Impulssender synchron laufende Empfangsanlage empfängt die von der Ionosphäre reflektierten Impulse (Reflexionen) über ein zweites Breitbandantennensystem. Der direkt vom Sender in die Empfangsanlage einströmende Impuls (Bodenimpuls) ist Ausgangspunkt für die Laufzeitmessung des Echoimpulses. Aus der Laufzeit des Impulses kann direkt die scheinbare Höhe der reflektierenden Schicht ermittelt werden. Zur Höhenbe-

uhr löst die Aufnahmen vollautomatisch nach jeweils vorgegebenem vierundzwanzigstündigem Programm aus. Ein Beobachtungsteil gestattet eine dauernde Kontrolle der Anlage.

#### Impulssteuerteil

Aufgabe des Impulssteuerteiles ist es, die in der Anlage benötigten Steuerimpulse in zeitlich richtiger Reihenfolge den einzelnen Bausteinen der Anlage zuzuführen.

#### Wirkungsweise des Impulssteuerteiles (Bilder 4 und 5)

Eine aus dem Netz gewonnene Impulskette (Bild 5a) mit der Impulsfolgefrequenz 50 Hz übernimmt die gesamte Impulssteuerung. Diese Impulskette regt einen Univibrator an, der Rechteckimpulse mit einer Zeitdauer von 8,3 ms (Bild 5b) abgibt. Durch einen gesperrten Oszillator, der durch den Rechteckimpuls für die Zeit von 8,3 ms geöffnet ist, entsteht eine Sinusfrequenz von 1,5 kHz (Bild 5c), die man zum Erzeugen der Höhenmarken (Bild 5d) verwendet. Die erste der 13 Höhenmarken wird nun jeweils herausgehoben und als Steuerimpuls für das Impulsskippergerät in der Registrierung benutzt. Den Steuerimpuls für den Sender (Bild 5e) leitet man über ein variables Verzögerungsglied von der ersten herausgehobenen Höhenmarke ab. Die zeitliche Dimensionierung des Verzögerungsgliedes gestattet es, die Anstiegsflanke des im Niederfrequenzteil des Empfängers auftretenden Bodenimpulses mit der zweiten Höhenmarke abzudecken. Ein Ableiten des Sendersteuerimpulses direkt aus der zweiten Höhenmarke ist nicht möglich, da der Steuerimpuls des Senders dem tatsächlich aus der Antenne abgestrahlten Hochfrequenzimpuls etwas vorläuft. Weiterhin tritt im Hochfrequenzteil des Empfängers eine Verzögerung des Impulses auf. Deshalb muß die Anstiegsflanke des Sendersteuerimpulses vor der zweiten Höhenmarke liegen. Der Steuerimpuls für die Frequenzmarken (Bild 5f) beginnt mit der ersten Höhenmarke und endet bei der Anstiegsflanke des Sendersteuerimpulses. Gleichzeitig

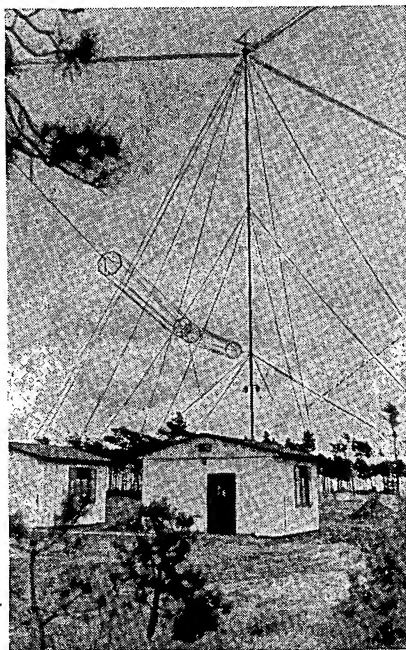


Bild 1: Antennenanlage auf der Ionosphärenstation Juliusruh/Rügen

stimmung dienen Meßimpulse im Abstand von 0,66... ms, entsprechend einer Reflexionshöhe von 100 km (Impulsweg 200 km). Eine Punktreihe, auf dem Ionogramm unterhalb des Bodenimpulses durch den Frequenzmarkengeber ausgelöst, kennzeichnet die Frequenz. In der Registrierung werden die Impulse durch eine Oszillografenröhre mit einer Optik auf 35 mm Kleinbildfilm zu einem Ionogramm von 10 cm Länge zusammengefasst. Die Aufnahmezeit eines Ionogramms von 0,5 bis 20 MHz beträgt 25 s zuzüglich 6 s Filmwechsel. Eine Steuer-



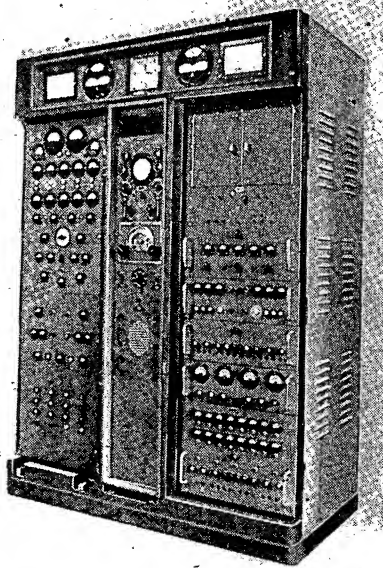


Bild 2: Ansicht der Ionosphären-Durchdreh-Sende-Empfangsanlage

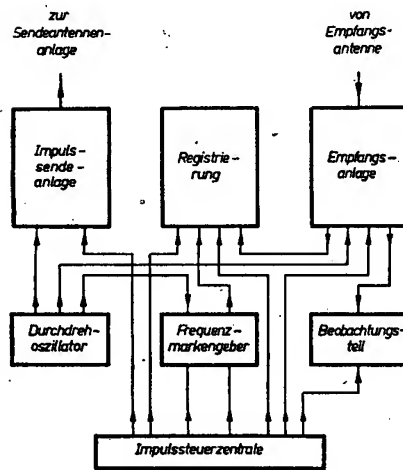


Bild 3: Blockschaftbild der Ionosphären-Durchdreh-Sende-Empfangsanlage

dient dieser Impuls zur Sperrung des Niederfrequenzkanals des Empfängers. Ein sägezahnförmiger Impuls (Bild 5g), der durch die herausgehobene erste Höhenmarke ausgelöst und zeitlinear bis zur Schlußflanke des Sendersteuerimpulses ansteigt, hat die Aufgabe, den Niederfrequenzverstärker des Frequenzmarkengebers für die Dauer des Bodenimpulses auszutasten. Über Abtrennstufen erreichen die Impulse die jeweiligen Bausteine der Anlage.

#### Durchdrehoszillator 25,5 bis 45 MHz

Die Frequenz von 25,5 bis 45 MHz wird mit einem kapazitiv abstimmbaren Gegentaktoszillator erzeugt. Über 70-Ω-Koaxialkabel erreicht die Hochfrequenz die Sendermischstufe und den Frequenzmarkengeber. Die Empfängermischstufe ist unmittelbar neben dem Oszillator angeordnet. Die Frequenzänderung des Oszillators bzw. das Durchdrehen des frequenzgeraden Drehkondensators über-

nimmt ein Motor, der beim Vorlauf eine Feder spannt, die nach Beendigung der Durchdrehaufnahme den Drehkondensator in seine Anfangsstellung zurückdreht. Der Motor wird während des Durchlaufs durch einen Fliehkraftregler auf konstanter Tourenzahl gehalten.

#### Impulsseideanlage

Den grundsätzlichen Aufbau der Impulsseideanlage zeigt Bild 6. Die Sendefrequenz von 0,5 bis 20 MHz gewinnt man durch die Mischung der zwei UKW-Frequenzen von 25 MHz und 25,5 bis 45 MHz. Die Festfrequenz (25 MHz) erzeugt ein Quarzoszillator, der im Dauerstrich arbeitet. Über zwei impulsgetastete Trennstufen erreicht die Festfrequenz im Gegentakt die Gegentaktseidermischung, die außerdem mit der Frequenz 25,5 bis 45 MHz von dem Durchdrehoszillator angesteuert wird. Öffnet nun der Sendersteuerimpuls die Trennstufen des Quarzoszillators, entsteht in der Mischstufe für die Dauer des Steuerimpulses die Sendefrequenz 0,5 bis 20 MHz. Über einen Breitbandvorverstärker und zwei anschließend mit dem Sendersteuerimpuls gittergetastete Treiberstufen erreicht der Hochfrequenzimpuls im Gegentakt aperiodisch verstärkt die Endstufe. Eine Aussteuerbegrenzung verhindert die Übersteuerung der Endstufe, die mit vier gittergetasteten Impulssenderöhren SRS 454 ausgerüstet ist. Über einen Antennenumschalter erreicht der Hochfrequenzimpuls von der Endstufe jeweils eine der drei zur Verfügung stehenden Sendantennen.

#### Empfangsanlage

Die Empfangsanlage bietet bei einem nach dem vorher beschriebenen Prinzip aufgebauten Durchdrehsender einige Schwierigkeiten. Bei einem Durchlauf wird im gesamten Band von 0,5 bis 20 MHz lediglich der Durchdrehoszillator abgestimmt. Es sind also im Antennen-eingang bis zur ersten Mischstufe keinerlei abstimmbare Elemente enthalten. Außerdem arbeiten die Impulsseideanlage und die Empfangsanlage immer auf der gleichen Frequenz. Jedesmal, wenn die Sendeanlage einen Hochfrequenz-

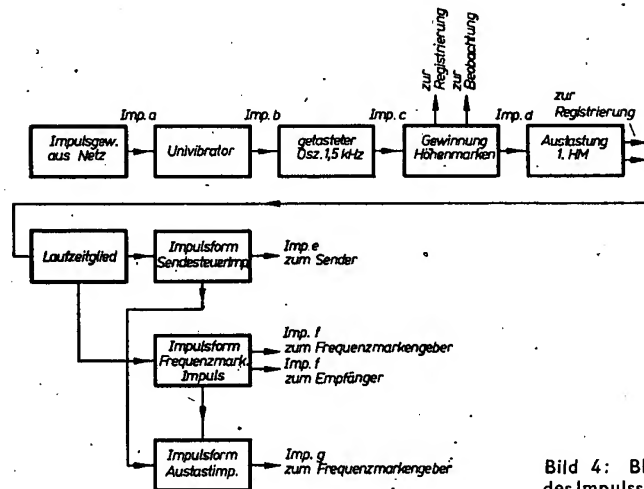


Bild 4: Blockschaftbild des Impulssteuerteils

impuls mit mehreren Kilowatt Sendeleistung über ihre Antenne abstrahlt, tritt in der Empfangsanlage, deren Empfangsantenne im unmittelbaren Nahfeld der Sendantenne steht, eine restlose Übersteuerung auf. Die Empfangsanlage muß jedoch in wenigen Mikrosekunden wieder voll empfangsfähig sein, damit die Echos,

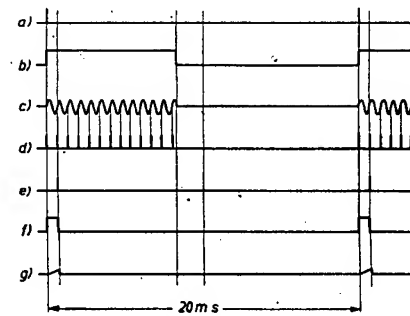


Bild 5: Zeitlicher Impulsverlauf im Impulssteuer-teil

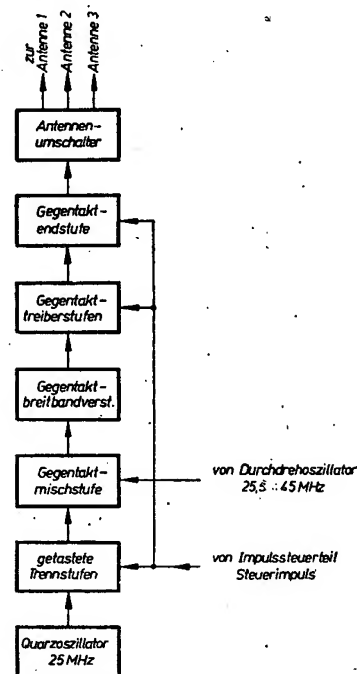


Bild 6: Blockschaftbild der Impulsseideanlage

die schon in etwa 300  $\mu$ s eintreffen können, voll empfangen werden. Deshalb muß der Empfänger impulsfest sein. In sämtlichen HF-, ZF- und NF-Stufen des Empfängers muß besonders auf die Impuls- und Übersteuerungsfestigkeit des Empfängers Rücksicht genommen werden. Auftretende Zeitkonstanten durch RC-Kombinationen in den Elektroden der verwendeten Verstärkerröhren müssen möglichst vermieden werden.

#### Aufbau der Empfangsanlage

Die von der Breitbandantenne empfangenen Impulse erreichen, durch einen Breitbandvorverstärker verstärkt, die erste Mischstufe (Bild 7). Mit der Durchdrehoszillatorfrequenz (25,5 bis 45 MHz) gemischt, ergeben sie eine Zwischenfrequenz von 25 MHz. Durch dieses Verfahren erreicht man einen automatischen Gleichlauf zwischen Sender und Empfänger. In dem vorgegebenen Frequenzband arbeiten viele Sendestationen, die beim Überlauf des Empfängers über deren Träger stören. Je schmalbandiger man den Empfänger auslegt, um so geringer sind die Einflüsse der störenden Sender. Man muß jedoch eine gewisse Mindestbandbreite einhalten, um eine zu starke Impulsverformung zu vermeiden. Durch Transponierung der Zwischenfrequenz auf 1,7 MHz konnte die gewünschte Bandbreite der Empfangsanlage erreicht werden. Nach der Demodulation sperrt ein Austastimpuls vom Impulssteuerteil das Empfangsgemisch für die Dauer des Frequenzmarkenimpulses. Über Abtrennstufen erreicht das Empfangsgemisch die Registrierung und das Beobachtungsteil.

#### Registrierung

Im Bild 8 ist das Grundprinzip der Filmregistrierung dargestellt. Das vom Empfänger kommende Gemisch wird der Helltaststufe zugeführt. Gleichzeitig erreichen diese Stufe Höhenmarken, Frequenzmarken und der vom Impulskippergerät kommende Helltastimpuls. Die Helltaststufe steuert nun mit dem gesamten Impulsgemisch die Katode einer Oszillografenröhre an. Bild 9 zeigt zwei Beispiele des Katodengemisches der Oszillografenröhre. Man sieht, daß der Helltastimpuls die Katode im Ultraschwarz anhebt. Erscheint jetzt ein Impuls, läuft die Katode über den Schwarzpegel hinaus; die Röhre schreibt für die Dauer des Impulses. Vor dem Bodenimpuls sieht man im Bild 9a im Störnebel eine Lücke, die vom Austastimpuls im Empfangskanal stammt. Im Fall b ist diese Lücke durch einen Impuls ausgefüllt. Der Frequenzmarkengeber hat hier den Frequenzmarkenimpuls für zwei Perioden eingeschaltet. Die Röhre hellt dadurch an dieser Stelle auf und schreibt die Frequenzmarke. Während der Dauer des Helltastimpulses erreichen die Zeit-

Bild 8: Prinzip der Registrierung

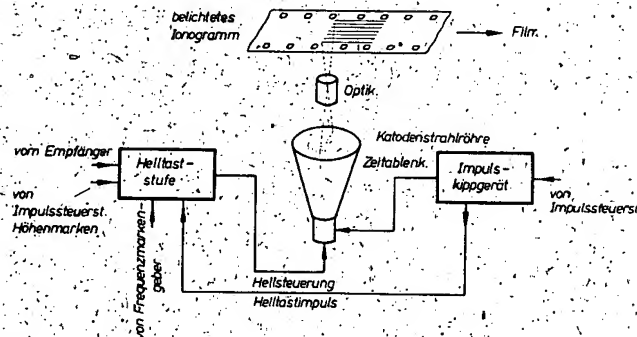
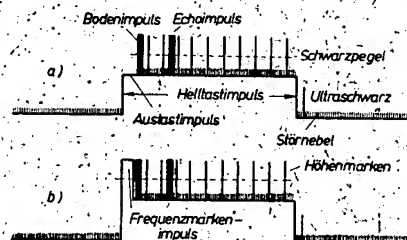


Bild 9: Helligkeitssteuergemisch der Oszillografenröhre in der Registrierung



platten der Oszillografenröhre eine vom Impulskippergerät zugeführte sägezahnförmige Spannung. Die Meßplatten verfügen über keinerlei Ansteuerung. Auf dem Bildschirm der Oszillografenröhre entsteht, hervorgerufen durch die Impulse, eine Punktreihe. Ein lichtstarkes Objektiv projiziert diese Punktreihe auf einen Kleinbildfilm, der mittels eines Motors über ein Wechselgetriebe gleichförmig weiterbewegt wird, so daß sich die Punkte zu einer Linie auseinanderziehen. Dreht nun der Durchdrehoszillator gleichzeitig mit der Weiterbewegung des Filmes

Oberwellen der Quarzfrequenz und der Grundwelle der Durchdrehoszillatorfrequenz erhält. Die Durchlaufzeit des Durchdrehoszillators beträgt 25 s. Die Bandbreite des an die Mischung anschließenden Niederfrequenzverstärkerkanals mußte nun so gewählt werden, daß die auftretenden Schwebungen, 26 MHz mit der 26. Oberwelle, von 1 MHz (1-MHz-Frequenzmarke), 27 MHz mit der 27. Oberwelle (2-MHz-Frequenzmarke), bis 45 MHz mit der 45. Oberwelle (20-MHz-Frequenzmarke), im Niederfrequenzkanal 50 ms erscheinen. Nach Gleichrichtung und anschließender Integration mit einer geeigneten Zeitkonstante, erhält man einen Impuls mit der Dauer von 50 ms. Zum Vermeiden von Störungen durch den einströmenden Hochfrequenzimpuls der Impulsseideanlage sperrt ein Austastimpuls den Niederfrequenzteil, welchen das Impulssteuerteil liefert. Durch den sägezahnförmigen Anstieg des Impulses kann man einen gewissen Vorlauf der Sperrtastung erzielen. Mit dem

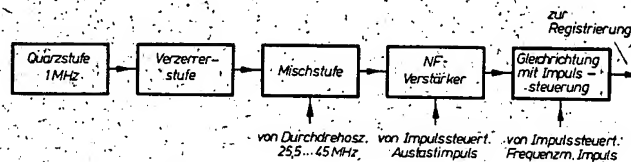


Bild 10: Blockschaltbild des Frequenzmarkengebers

durch, entsteht auf dem Film ein Ionogramm.

#### Frequenzmarkengeber

Der Frequenzmarkengeber (Bild 10) hat die Aufgabe, das Ionogramm mit einer genauen Frequenzskala zu versehen. Eine unterhalb des Bodenimpulses aufgezeichnete Punktreihe dient zur Frequenzzeichnung des Ionogramms. Bei jedem vollendeten Megahertz, d. h. bei 1, 2, 3, ..., 19, 20 MHz erscheint ein Punkt auf dem Ionogramm. Als Frequenznormal dient eine Quarzfrequenz von 1 MHz. Über Verzererstufen geleitet, werden die Oberwellen der Quarzfrequenz mit der Durchdrehoszillatorfrequenz (25,5 bis 45 MHz) einer Mischstufe zugeführt, in der man Schwebungen zwischen den

Bild 11: Ansicht des Beobachtungsteils mit Steuerung und Durchdrehoszillator

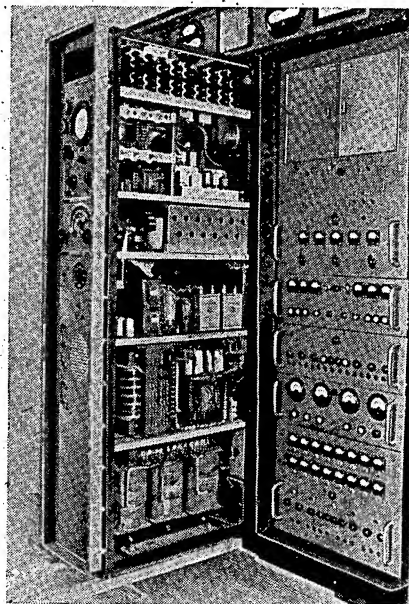
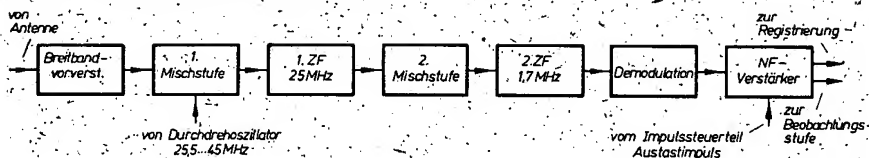


Bild 7: Blockschaltbild des Empfängers



50-Millisekundenimpuls hebt man nun aus der vom Impulssteuerteil kommenden Impulskette zwei bis drei Impulse heraus, die dann jeweils als Frequenzmarke in der Registrierung erscheinen.

#### Beobachtungsteil

Das Beobachtungsteil ist mit einer Oszillografenröhre ausgerüstet. Auf dem Bildschirm dieser Röhre erscheinen verschiedene Vorgänge zur Kontrolle und

Überwachung der Anlage. Von besonderem Interesse ist hierbei das sogenannte Querschnittsbild. An den Meßplatten der Beobachtungsröhre liegt das Empfängergeräusch mit eingeblendeten Höhenmarken, an den Zeitplatten eine sägezahnförmige Spannung von einem Impulsskipper. Dieses Querschnittsbild gestattet es, die richtige Empfindlichkeit für die Empfangsanlage während des Durchlaufes zu wählen.

#### Steuerung

Durch eine Relaissteuerung werden alle Vorgänge in der Anlage automatisch ausgelöst. Das Aufnahmeprogramm kann 24stündig auf einem Stecktableau vorgewählt werden.

Über die Bedeutung derartiger Panoramaaufnahmen für die Ionosphärenforschung berichtet der Artikel „Die Ionosphäre“ von J. Taubenheim auf Seite 380.

UDO KÖHLER

## Atmosphärische und kosmische Einwirkungen auf den Menschen

*Uralt sind die Bestrebungen, Beziehungen zu finden zwischen seelischen und körperlichen Empfindungen des Menschen und Einwirkungen meteorologischer und kosmischer Art. Mancherlei Aberglaube konnte sich mangels einwandfreier Untersuchungsergebnisse bis in die heutige Zeit halten und zum Teil sogar auf pseudowissenschaftlicher Basis weiterentwickeln [siehe z. B. unsere Buchbesprechungen über Wünschelrutenprobleme in den Hefen 16 (1955) und 21 (1956)]. Um so interessanter werden daher für unsere Leser die folgenden Ausführungen über Zusammenhänge zwischen Vorgängen in der Ionosphäre, die sich durch den allen Kurzwellenamateuren bestens bekannten Mögel-Dellinger-Effekt äußern und der Schmerzintensität von „wetterfühligem“ Menschen sein. Herr Doz. Dr. med. habil. Udo Köhler, Oberarzt der I. Medizinischen Universitätsklinik Halle (Saale), berichtet in dieser Arbeit über langjährige eigene Untersuchungen dieser Erscheinungen.*

Von den mannigfaltigen Umwelteinflüssen auf den Menschen gehören die des Wetters zu den am längsten bekannten. Wohl jeder von uns kennt aus seiner eigenen Lebenserfahrung entsprechende Beispiele. Das Wetter und besonders der Wetterwechsel wirken sich auf Seele und Körper des Menschen aus. Dabei bestehen freilich recht erhebliche Unterschiede von Mensch zu Mensch, die sich aus der Gesamtstruktur der betreffenden Persönlichkeit ergeben. Aber ganz kann sich keiner der Einwirkung solcher meteorischen Faktoren entziehen, selbst wenn sie ihm kaum ins Bewußtsein treten. In unserer unterbewußten, vegetativen Sphäre dagegen laufen solche Wechselwirkungen oft viel stärker ab. Sie können sich dann nicht nur in wechselnden Gemütsstimmungen verraten, sondern auch in unruhigem Schlaf, allgemeinem körperlichen Unbehagen oder vielleicht sogar in gewissen Mißempfindungen, die dann gewöhnlich die Schwelle des Bewußtseins zu überschreiten pflegen.

Wenn also schon beim Gesunden derartige Einwirkungen festgestellt werden können, wird uns die viel stärkere Empfindlichkeit vieler Kranker nicht mehr verwunderlich erscheinen. So wissen wir schon lange Zeit um die Wetterabhängigkeit gewisser krankhafter Symptome, wie etwa des Rheuma- oder Narbenschmerzes, mancher Herz- und Kreislaufstörungen, gehäufter Embolien, Gallen- oder Nierensteinkoliken usw. Solche von meteorischen Vorgängen auslösbare Krankheiten oder Krankheitszeichen bezeichnet man als meteorotrop. Das Wissen um sie hat natürlich sehr bald zu der Frage nach ihrer Entstehung und der Art ihrer Wirkungskette, also nach ihrem Wirkmechanismus geführt.

Großes Aufsehen erregte die Entdeckung, daß in den Unstetigkeitsschichten der Atmosphäre nicht nur thermodynamische, sondern auch elektrische und elektromagnetische Vorgänge ablaufen. Thermo-

dynamische Reaktionen führen zu einer Störung des luftelektrischen Feldes und vielfach auch zur Entstehung elektromagnetischer Langwellen, die man auch als Infra-Langwellenstrahlung oder atmospherics bezeichnet. Der Frequenzbereich dieser Strahlung liegt unter 100 Hz. Ihre Entstehungsweise ist allerdings gegenwärtig noch nicht in allen Einzelheiten bekannt. Fest steht jedoch ihre enge Verknüpfung mit den Unstetigkeitsschichten, weswegen sie in Gewittern eine besondere Intensität erreichen.

Nachdem man schon fast geglaubt hatte, in diesen trägen Schwingungen nunmehr des Rätsels Lösung gefunden zu haben, stürzte das hoffnungsvolle Gebäude dieser neuen Theorien durch eine völlig unerwartete Entdeckung ein. Der Freiburger Physiker Prof. Loßnitzer konnte nämlich nachweisen; daß derartige Frequenzen von ganz verschiedenen „Störseiden“ unseres technischen Alltags, wie Autos usw., ausgesandt werden. Die Intensität dieser künstlichen Felder ist zudem noch viel größer als die der atmosphärischen, so daß deren meteorobiologische Bedeutung begreiflicherweise dadurch nachhaltig eingeschränkt wird. Dagegen scheinen elektrische Hochfrequenzschwingungen ( $> 1$  MHz) biologisch viel wichtiger zu sein. Es gibt nämlich eine Reihe sehr interessanter biologischer und kolloidchemischer Reaktionen, die sich in vollkommen luftabgeschlossenen Räumen vollziehen. Sie können daher weder durch die Ionisation der umgebenden Luft noch durch deren elektrisches Potential verursacht sein. Der deutsche Forscher Bortels hat sogar wahrscheinlich machen können, daß in den Hoch- und Tiefdruckgebieten der Erdatmosphäre bestimmte Strahlungen unterschiedlichen Härtegrades entstehen, die sich durch ein beachtliches Durchdringungsvermögen auszeichnen und die er zunächst ganz unverbindlich als

Wetterstrahlung bezeichnet hat. Da nun in biologischen Objekten und im menschlichen Körper kolloidale Strukturen eine hervorragende Rolle spielen, ist ihre meteorobiologische Bedeutung besonders im Hinblick auf die bereits vorliegenden experimentellen Untersuchungsergebnisse kaum noch zweifelhaft.

In den neuesten Arbeiten tritt schließlich immer mehr die früher offensichtlich weit unterschätzte Bedeutung der kosmischen Strahlung für ganz elementare biologische Prozesse (Mutationen) und chemische Reaktionen in den Vordergrund. Damit aber rücken die hohe Atmosphäre und selbst die Sonne bzw. der Weltraum mit ihren ungeheuren Energiequellen in das Blickfeld des modernen Meteorobiologen.

Es kann heute bereits keinem Zweifel mehr unterliegen, daß die Vorgänge in der irdischen Troposphäre, in der sich die das Wetter bestimmenden Reaktionsabläufe vollziehen, von den darüberliegenden höheren Schichten der Atmosphäre maßgeblich beeinflußt werden. So hat man die Bedeutung des Ozons, der dreiatomigen Modifikation des Sauerstoffs, für die Meteorologie erkannt, und auf der anderen Seite wissen wir heute schon ziemlich genau um die Steuerung der in der Ionosphäre ablaufenden Ionisierungen, die wiederum auf das luftelektrische Feld und damit die Gestaltung des Wetters einwirken. Man hat nämlich neuerdings den Nachweis erbringen können, daß bei abnormer E-Schicht (etwa 100 km Höhe), in der das Maximum der Ionisierung des molekularen Sauerstoffs liegt, gehäuft Gewitter auftreten. Damit scheint der Beweis erbracht zu sein, daß die dem Funktechniker längst vertrauten Ionisationsschichten der Erdatmosphäre nicht nur von großer Bedeutung für die Funkverbindung im Kurzwellenbereich, sondern entscheidend auch für die Entstehung von Diskontinuitätsflächen in

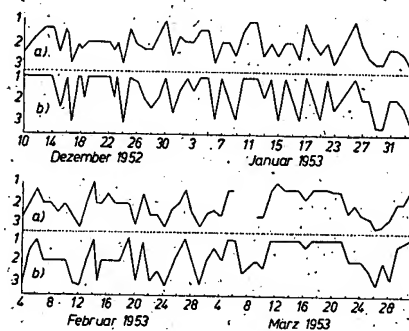


Bild 1: Transatlantischer Kurzwellenempfang (a) und nächtliche Schmerzintensität eines wettervorfühligen Menschen (b) nach Köhler, Die Sterne 1955, S. 201 bis 210

Transatlantischer Kurzwellenempfang	Beschwerden des Patienten
1 = gut, wenig Fading, viele Sender	nicht nennenswert
2 = Fading; Feldstärken, Senderzahl mäßig	mäßige Schmerzen
3 = starkes Fading bis völlig unmöglicher Empfang	starke, über Stunden andauernde Schmerzen

der Troposphäre und damit wiederum für das Wetter sind. So gehen die Probleme der Meteorologie zwanglos über in die der Physik der hohen Atmosphäre und enden infolge der dort ablaufenden Wechselwirkungen zwischen den mannigfaltigen kosmischen Strahlungen und der atmosphärischen Materie letztlich bei der Astro- und Quantenphysik.

Wenn auch den früher aufgestellten Korrelationen zwischen Sonnenfleckenzahlen und biologischen Phänomenen keine nennenswerte wissenschaftliche Bedeutung zukommt, so haben doch neueste Forschungsergebnisse solare Einwirkungen auf den Menschen sehr wahrscheinlich machen können.

Zwischen der Sonnentätigkeit und der sogenannten Wettervorfühlbarkeit des Menschen besteht ein auffallender Zusammenhang. Man versteht darunter die merkwürdige Fähigkeit mancher Menschen, eine Wetteränderung schon zwei bis drei Tage vor ihrem Eintritt zu fühlen. Daß es sich dabei nicht um ein echtes „Vorfühlen“ handeln kann, also um das Fühlen eines noch nicht vorhandenen physikalischen Zustandes, war von vornherein klar. Es konnten daher nur physikalische Vorgänge sein, die sich durch das gleiche Zeitintervall auszeichnen. Ich fand sie schließlich in dem bekannten Mögel-Dellinger-Effekt und dem Einfall solarer Korpuskularstrahlungen in die Erdatmosphäre, wo durch den Einfluß des oben geschilderten Zusammenhangs zwischen Ionosphäre und luftelektrischem Feld ein Tiefdruckgebiet entsteht. Beide Phänomene lassen sich auf eine chromosphärische Sonneneruption zurückführen. Die dabei emittierte solare  $\gamma$ -Strahlung breitet sich mit Lichtgeschwindigkeit aus und verursacht jene elektrischen Störungen im Sinne des Mögel-Dellinger-Effektes bzw. ganz allgemein eine Änderung der Ionosphäre.

Nun ermöglicht die Beobachtung des transatlantischen Kurzwellenempfanges zu einer Zeit, da Europa bereits im Dunkeln, Amerika aber noch auf der Sonnenseite unseres Planeten liegt, auf einfache Weise eine gewisse Beurteilung des mittleren Ionisationszustandes der Ionosphäre. Setzt man die so erhaltenen Meßergebnisse in Beziehung zu den Schmerzangaben sicher „vorfühliger“ Menschen<sup>1)</sup>, so erhält man nahezu völlige Parallelität der Kurven, wie aus Bild 1 ersichtlich ist.

Danach handelt es sich also gar nicht um ein Fühlen oder gar Vorfühlen des Wetters, sondern um einen solar ausgelösten Effekt, den man als Sonnenfühlbarkeit bezeichnen könnte. Diese konnten wir übrigens später zusammen mit Eisold (Diss. Halle 1956) auch an unterschiedlich erkrankten Patienten unserer Klinik mit den Methoden der mathematischen Statistik nachweisen. Natürlich ergeben sich dann nicht mehr so eindrucksvolle Korrelationen wie bei den wenigen „wettervorfühligen“ Menschen, die ich früher als Testobjekte benutzt hatte.

Ferner konnten wir zeigen, daß solchen chromosphärischen Sonneneruptionen keineswegs immer eine Wetteränderung folgen muß, auch wenn das entsprechende Gefühl aufgetreten war. Die Sonnenfühlbarkeit ermöglicht daher ebenfalls keine absolut sicheren Wetterprophetieungen, wie aus der allgemeinen Lebenserfahrung bereits weitgehend be-

kannt sein dürfte. Tritt aber eine Wetteränderung nach zwei bis drei Tagen ein, so wird man sie vielleicht mit einer gleichzeitig mit der Wellenstrahlung emittierten Korpuskularstrahlung in Verbindung bringen dürfen. Da deren Teilchengeschwindigkeit zwischen 500 und 2000 km/s schwankt, wird die beobachtete Latenzzeit verständlich. Bewiesen sind diese Zusammenhänge aber noch nicht. Schließlich läßt sich gegenwärtig auch noch nicht entscheiden, ob die Sonnenfühlbarkeit des Menschen und ähnliche biologische Effekte ausschließlich durch eine elektromagnetische Wellenstrahlung zustande kommen. Nachdem die neuesten Forschungen zu der Entdeckung sehr schneller Protonen als Hauptbestandteile der primären Höhenstrahlung geführt haben, ist diese Annahme jedenfalls nicht mehr zwingend. Bei der Fülle der heute bereits bekannten Sekundäreffekte der kosmischen Ultrastrahlung erscheint sie sogar nicht einmal mehr wahrscheinlich. So beginnen die Dinge gegenwärtig wieder recht kompliziert zu werden. Man darf daher mit Spannung die Forschungsergebnisse der kommenden Jahre erwarten, die nur in weltweiter Zusammenarbeit möglichst vieler Wissenschaftler zu einer nennenswerten Erweiterung unseres Wissens führen werden:

1) s. a. Köhler: Die Sterne 1955, S. 201 und Naturwissenschaften (1953), S. 360.

### Vorbereitungen zum IGJ in der UdSSR und in der CSR

In aller Welt treffen die Wissenschaftler Vorbereitungen für die Forschungen und Beobachtungen des am 1. 7. 1957 beginnenden Internationalen Geophysikalischen Jahres. Das Moskauer Werk „Fisprigor“ stellt vollkommen automatisierte Geräte her, die zum Studium der kosmischen Strahlung verwendet werden (z. B. kubische Teleskope). Das kubische Teleskop dient zur Registrierung der Intensität der kosmischen Ausstrahlung der Erde.

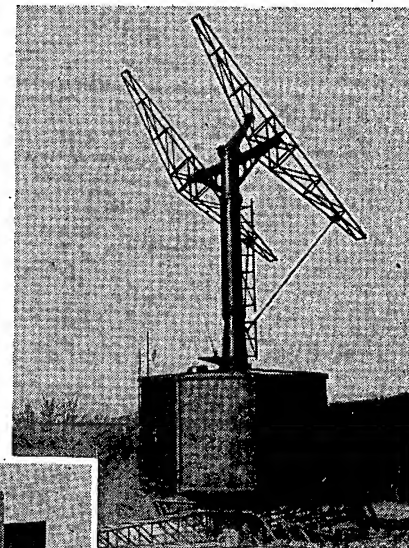
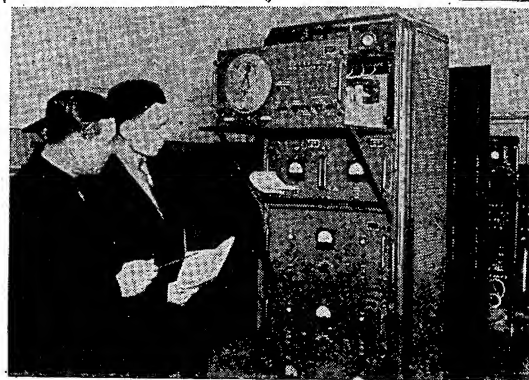


Bild 1: Unweit des Observatoriums Ondrejov (CSR) wird das im Bild gezeigte Gerät demnächst in Betrieb genommen und dient zur Beobachtung von Meteoren

Bild 2: Gerätegestell des in der Sowjetunion hergestellten kubischen Radioteleskops



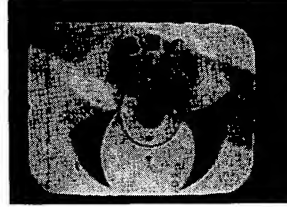
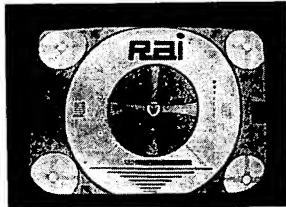
## Fortsetzung von der 2. Umschlagseite

Ionosphäre erfolgten. Die an diesen Tagen festgestellten troposphärischen Ausbreitungsbedingungen zeigten keinerlei Besonderheiten, wie die Messungen verschiedener UKW-Sender ergaben. Bei Ausbreitung über die E<sub>s</sub>-Schicht fallen die Sender teilweise — wie auch diesmal beobachtet — mit einer beachtlichen Feldstärke ein. Somit können Sender in verhältnismäßig geringer Entfernung vom Empfangsort recht erheblich gestört werden. Da derartige Ausbreitungssituationen selten auf-

treten, ist jedoch eine Berücksichtigung dieses Effekts bei einer Fernseh- oder UKW-Netzplanung nicht möglich, ganz abgesehen von der Tatsache, daß dann die zur Verfügung stehende geringe Anzahl von Kanälen, die ohnehin schon kaum ausreichend ist, in keiner Weise mehr den Anforderungen genügen würde. Neben Lesermittellungen, die eine Beschreibung der Empfangsbeobachtungen verschiedener ausländischer Fernsehsender bringen, liegen auch Beobachtun-

gen über den Empfang italienischer UKW-Rundfunksender vor, die mit beachtlichen Feldstärken eingefallen sind. Wenngleich dieser hier in erster Linie beschriebenen Form der UKW-Fernaussbreitung über die E<sub>s</sub>-Schicht keine erhebliche praktische Bedeutung zukommt, dürfte nach den bisherigen Messungen der Streckenübertragung auf Grund der ionosphärischen Streuprozesse eine offensichtlich aussichtsreiche Zukunft vorausgesagt werden können.

Dr. Kühn



Von links nach rechts: Bild eines italienischen Fernsehsenders am 19.5.1957. Bild eines sowjetischen Fernsehsenders, Aufnahmetag: 18.5.1957. Zwei Schirmbilder eines englischen Fernsehsenders am 19.5.1957. (Fotos: Kleckbusch, Finsterwalde).

### Rundfunk-mechanikermeister

mit F.-S.-Zusatzprüfung,  
41 J., verh., sucht inter-  
essanten Arbeitsbereich.  
Angebote mit Wohnungs-  
nachweis erb. unter RF 1708

### Röhrenprüfgerät W 18

mit Zusatzgerät f. Spezial-  
röhren und allem Zubehör  
für 310,- DM z. verkaufen.  
Ing. HERBERT KÖLBEL,  
Zwickau (Sachsen),  
Lothar-Streit-Straße 19

### Junger, lediger Physikfachlehrer

sucht Übergangsmöglich-  
keiten zur H.-F.-Technik  
ab 1.9.1957.  
Zu erfragen unter RF 1727

### Oszillograf,

Siemens KE 1072, neuwert.,  
Kippgerät u. Verstärker ein-  
gebaut, f. 700,- DM z. verk.  
Angebote unter RF 1705

### Radio- und sonstige Reparaturkarien

KLOSS & CO., Mühlhausen (Thür.)  
Ford. Sie unverbindlich Muster

Wir suchen sofort  
**Rundfunkmechanikermeister**  
Bewerbungen erbeten an  
HO-Industriewaren Riesa,  
Abteilung Kader, Riesa/Elbe,  
Speicherstraße 2.



**Beschriften** Sie Ihre Maschinen, Apparate,  
Geräte usw. (Firmenschild, Schutzmarke o. ä.)  
durch **Abziehbilder - Schiebebilder**  
VEB (K) Buch- und Werbedruck, Saalfeld (Saale)

### Sachsenwerk-Gehäuse

Stück DM 15,- z. verkaufen.  
Angebote unter RF 1682 an  
d. Verlag „Die Wirtschaft“

### Erfahrener und tüchtiger Rundfunkmechaniker

f. RFT-Vertragswerkstatt  
und Kundendienst, mögl.  
mit Kenntnissen im Fern-  
sehen, für Vorort v. Berlin  
gesucht. Bewerbungen mit  
Gehaltsansprüchen an  
Radio-Mieck, Werder/Havel

### LAUTSPRECHER-

Reparaturen u. Neuanfertigung  
aufmagnetisieren - spritzen  
sauber - schnell - preiswert

Mechanische Werkstatt  
Alfred Pötz, Arnstadt i. Thür.  
Friedrichstraße 2 : Telefon 673

### Einen bis zwei Rundfunkmechaniker

(Wohngelegenheit vorhanden) sucht

RFT-Vertragswerkstatt Radio und Fernsehen  
E. KÖLLING, Lauchhammer-Süd,  
Liebenwerdaer Straße 39

### Rundfunkmechaniker

für Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiete  
der Radio-Meteorologie gesucht.

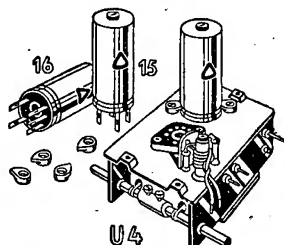
Meteorologisches Hauptobservatorium Potsdam  
Telegrafenberg

Für sofort oder später werden

**1 Rundfunkmechaniker,**

**1 Elektromechaniker** gesucht.

Elektromechanische Werkstätten Ing. Oswald Hauswirth,  
Zweigbetrieb Woltersdorf bei Erkner, Kalkseestraße 64



UKW-Superspulenatz SSp 222 mit Doppel-  
triode und Induktivitätsabstimmung

## RUNDFUNK-SPULENSÄTZE

für Superhet-, Einkreis- und UKW-Empfänger — UKW-Tuner — Miniatur-Zwischen-  
frequenzbandfilter 10,7 MHz — Zwischenfrequenzbandfilter 468 kHz — Tasten-  
schalter mit und ohne Spulenaufbauten — Miniatur-Tastenschalter für Klang-  
characterschaltung, für Kofferradios und Magnetofontechnik in Vorbereitung —  
Netztransformatoren — Siebdrosseln — Drahtwiderstände 0,5 bis 80 Watt

**GUSTAV NEUMANN · CREUZBURG/WERRA**  
THÜRINGEN



Unser Fertigungsprogramm

**UKW- und  
FS-ANTENNEN** aller Art



**Buchmann, Schulze & Co.**  
DESSAU, Stenesche Straße 12



**VEB WERK FÜR FERNMELDEWESEN**  
Berlin-Oberschöneweide, Ostendstraße 1-5

sucht dringend erfahrenen, auch älteren

**INGENIEUR**

mit literarischem Interesse für unsere Betriebslaboratorien, zur Ausarbeitung von Arbeitsvorschriften, Bedienungsanweisungen, technischen Beschreibungen usw. Eintritt sofort oder später, Gehaltsgruppe J III.

Bewerber melden sichtlich, außer sonnabends, in der Zeit von 9-14 Uhr im Einstellungsbüro bzw. schriftlich.

Ein neues Buch für den Rundfunkmechaniker

BERNHARD PABST

**Bauelemente des Rundfunkempfängers**

658 Seiten mit 182 Bildern und 2 Tafeln mit Schaltskizzen.  
Halbleinen etwa 12,- DM

Alle Bauelemente der modernen Rundfunkgeräte werden in ihrem Aufbau und ihrer Funktion anschaulich und übersichtlich beschrieben; ebenso die möglichen Störungen und deren Beseitigung.



B.G. TEUBNER Verlagsgesellschaft, Leipzig



**ADOLF FALCKE** • Apparatebau  
Berlin W 8, Markgrafstr. 58, Ruf 202064  
**Elektrische Meß- und Prüfgeräte**

Liefert kurzfristig:  
LCR-Meßgeräte  
R-Meßgeräte  
C-Meßgeräte  
Scheinwiderstands-  
meßgeräte  
Diodenvoltmeter

Megohmmeter  
Röhrevoltmeter  
UKW-Wellenmesser  
RC-Generatoren  
UKW-Generatoren  
Auto-Einbau-Amperemeter  
HF-Meßgeneratoren

Bitte fördern Sie unser Angebot an!



**QUALITÄT  
SCHAFFT  
VERTRAUEN**

...und Vertrauen können Sie haben zu den Erzeugnissen  
der Röhrenwerke der Deutschen Demokratischen Republik

UNSERE WERKE FERTIGEN:

Röhren für Rundfunk und Fernsehen  
Senderröhren, Deziröhren  
Spezialröhren für Meßzwecke  
und elektronische Steuerungen

Die Röhrenwerke der Deutschen Demokratischen Republik:

**VEB WERK FÜR FERNMELDEWESEN**

Berlin-Oberschöneweide · Telefon: 63 2161 / 63 2011

**VEB FUNKWERK ERFURT** · Telefon: 5071

**VEB RÖHRENWERK ANNA SEGHERS**

Neuhaus am Rennweg · Telefon: 324

**VEB RÖHRENWERK MÜHLHAUSEN**

Telefon: 3161 / 3263